

FISIOECOLOGIA DE INVERTEBRADOS MARINHOS RESISTÊNCIA A ANOXIA

KAORU HIROKI *

Dept. Fisiologia Geral — Instituto de Biologia
Marinha — Universidade de São Paulo. Caixa
Postal 11.230 — São Paulo — Brasil.

1. INTRODUÇÃO	315
2. O MATERIAL E SUA PROCEDÊNCIA	320
3. MÉTODO E TÉCNICA DE EXPERIMENTAÇÃO ...	330
4. PARTE EXPERIMENTAL	333
5. RESULTADOS	334
6. DISCUSSÃO	335
7. BIBLIOGRAFIA	339

RESUMO — Animais comumente encontrados na zona entre-marés resistem diferentemente à deficiência de oxigênio dissolvido na água do mar, em condições experimentais. Dentro de um mesmo filo há grandes diferenças na resistência, como por exemplo, no caso de *Anomalocardia brasiliana* e de *Olivella verreauxii*. As espécies mais resistentes foram *Anomalocardia brasiliana* e *Neritina virginea*. As espécies menos resistentes foram *Olivella verreauxii* e *Echinaster brasiliensis*. Há uma estreita relação entre a resistência à deficiência de oxigênio, o “habitat” e o modo de vida do animal. O estudo da resistência dos animais à deficiência de oxigênio acha-se intimamente relacionado com o ambiente poluído, principalmente quando o elemento poluidor leva à redução do oxigênio dissolvido na água.

* Bolsista da Reitoria da Universidade de São Paulo e da Deutscher Akademischer Austauschdienst.

PHYSIOÖKOLOGIE MARINER EVERTEBRATEN. RESISTENZ IN SAUERSTOFFARMEM WASSER.

ZUSAMMENFASSUNG — Unter experimentellen Bedingungen konnte nachgewiesen werden, dass die Resistenz mariner Evertibraten in sauerstoffarmem Wasser von Art zu Art variiert. Die untersuchten Tiere waren: *Anomalocardia brasiliiana*, *Mytilus perna*, *Iphigenia brasiliiana*, *Neritina virginea*, *Littorina ziczac*, *Olivella verreauxii* (Mollusken), *Asterina stellifera* und *Echinaster brasiliensis* (Echinodermen). Aus den Versuchen geht eindeutig hervor, dass *A. brasiliiana* einen sehr erheblichen Sauerstoffmangel vertragen kann, da dieser Lamelli-branchier am resistenstesten ist. Es besteht auch eine enge Beziehung zwischen der Resistenz der betreffenden Art in sauerstoffarmem Wasser und deren Lebensraum und Lebensweise.

1.

INTRODUÇÃO

Nos mares e oceanos há, geralmente, um equilíbrio entre os processos de consumo de oxigênio e sua reposição (RICHARDS 1965, p. 612). A distribuição do oxigênio depende de vários fatores, entre os quais são de maior importância a salinidade, as atividades biológicas, correntes marinhas e processos de mistura (SVERDRUP *et. al.*, 1942 p. 189; RICHARDS, 1957 p. 185; 1965 p. 611-612), oscilando os valores, em geral, entre 9 ml/l e zero SVERDRUP *et. al.*, 1942 p. 188; RICHARDS, 1957 p. 211). Não poucas são as regiões que apresentam baixas concentrações do referido gás. No Mar Báltico, por exemplo, estas ocorrem em bacias profundas, onde a estagnação é ocasionada por diferenças de salinidade (SEGERSTRALE, 1957 p. 765); no Mar Negro, devido ao isolamento das massas de água e à falta de circulação vertical (CASPERS, 1957 p. 820), como também em fiordes da Noruega (SVERDRUP *et al.*, 1942 p. 871); em algumas localidades, relaciona-se a redução do teor de oxigênio com a poluição (TULKKI, 1960 p. 5; WALDICHUK, 1968 p. 3).

Praticamente em todos os oceanos ocorrem as chamadas “camadas de mínimo de oxigênio” (WATTENBERG, 1929, p. 70; SEWELL and FAGE, 1948 p. 949; CHILDRESS, 1968 p. 1242). Por exemplo, no Oceano Atlântico tem-se uma “camada de mínimo de oxigênio” entre 500 e 900 m de profundidade, cujos valores mínimos, abaixo de 1.0 ml/l, são encontrados entre as latitudes 15° S e 15° N, na parte oriental. Abaixo desta camada, a quantidade de oxigênio aumenta rapidamente com a profundidade (WATTENBERG, 1929 p. 70; SVERDRUP *et al.*, 1942 p. 686). No Pacífico leste, nas proximidades da costa americana, existe uma outra, estendendo-se do Equador à latitude 28° N e a oeste até 14°, apresentando concentrações inferiores a 0.25 ml/l, a profundidades entre 200 a 300 m e 1200 m (SVERDRUP *et al.*, 1942 p. 729; LONGHURST, 1967 p. 51). Ainda SVERDRUP *et al.* (1942 p. 730) informam que águas com teores de oxigênio praticamente nulos se encontram no Golfo da Califórnia, a 100 m de profundidade. GORDON (1960 p. 616-617) adianta ter determinado baixos valores do gás em águas intersticiais de praias arenosas. Quanto ao fundo de bacias isoladas ou fiordes, o oxigênio pode ser consumido rapidamente pela decomposição de substâncias orgânicas (MOORE, 1931, p. 328; SVERDRUP *et al.*, 1942 p. 802; von BRAND, 1946 p. 24) e, caso as condições de reposição não sejam favoráveis, as águas circundantes estarão sujeitas a tornarem-se também anaeróbicas. Tal é o caso do Mar Negro (RICHARDS, 1957 p. 213).

Os casos extremos de ocorrência de águas anaeróbicas são representados pelo Mar Negro que, por sinal, é considerado como a maior e mais estudada bacia anóxica do mundo (NIKITINE et MALM, 1934 p. 142; von BRAND, 1946 p. 28; CASPERS, 1957 p. 820; RICHARDS, 1965 p. 617), em que somente a camada superior de 50 m é saturada de O₂ (ZENKOVITCH, 1966 p. 147) e outras regiões estagnantes (von BRAND, 1946 p. 28; BRONGERSMA — SANDERS, 1957 p. 959; POR and MASRY, 1968 p. 388).

Essas regiões apresentam, de um modo geral, uma redução do número de espécies. SVERDRUP *et al.*, (1942 p. 871) adiantam que em fiordes estagnantes faz-se sentir a influência da deficiência de oxigênio sobre a fauna. Segundo ZENKEVITCH (1963 p. 473); “bottom zones exposed to frequent suffocation phenomena are the poorest in benthos. Suffocation leads to a mass extinction of benthos”.

pelagic organisms. . .” Mais adiante (pp. 530 e 533), o autor faz referências ao Mar de Sivash ou Mar Pútrido, onde se observam mudanças estacionais da biomassa devidas ao fenômeno de sufocamento da fauna bentônica, principalmente no verão, quando o tempo é calmo, ocasionando uma distribuição mais esparsa dessa fauna bentônica. Na primavera, quando as condições reinantes são outras, ocorre um aumento da biomassa. TULKKI (1965 p. 457) estudou a distribuição e composição da fauna bentônica das águas profundas do Báltico Sul, verificando uma redução dessa fauna devido aos períodos de estagnação e à falta de oxigênio que, em certos meses (março), desce a 0.77 ml/1.

No entretanto, espécies há que vivem em baixas concentrações de oxigênio, tais como o Crustáceo *Gnathophausia ingens*, que aparece na “camada de mínimo de oxigênio”, ao longo da costa da Califórnia, no Pacífico leste, em concentrações que variam entre 1.25 e 0.20 ml/1 (CHILDRESS, 1968 p. 1242); *Halicryptus spinulosus*, em regiões onde são ausentes outros representantes da macrofauna (TULKKI, 1965 p. 458); *Calanus helgolandicus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Oithona similis*, *Oikopleura dioica* *Sagitta euxina*, larvas de Poliquetos (ZENKEVITCH, 1963 p. 409), no Mar Negro, em profundidades onde o teor de oxigênio diminui bastante e se reduz a 5%.

HEILBRUNN (1955 p. 286) diz: “many types of protozoan and metazoan animals can exist for long periods in the absence of oxygen”.

Em condições completamente anaeróbicas, podem viver somente bactérias anaeróbicas facultativas ou obrigatórias (RICHARDS, 1957 p. 212).

Vários são os experimentos realizados para verificação da resistência e tolerância de invertebrados aquáticos à anoxia. Alguns grupos são mais resistentes ou tolerantes que outros. De acordo com von BRAND (1927 p. 675-676), o Poliqueto *Owenia fusiformis* vive no mínimo três semanas em condições anaeróbicas. MOORE (1931 p. 356) testou a resistência de espécimes do Mar de Clyde (Escócia): *Syndosmya alba* não viveu mais que 3 1/2 dias; *Nucula tenuis* permaneceu ativa após 5 a 17 dias em condições experimentais; dos Copépodes, 75% morreram depois de 9 dias e 90% após 14 dias. NIKITINE et MALM (1934 p. 144-148) verificaram o mínimo de O₂ necessário para a sobrevivência de diversos plancton-

tes do Mar Negro e os resultados se aproximam dos limites em que os mesmos aparecem naturalmente: *Calanus finmarchicus* morre em concentrações de 0.20 ml/1, valores estes diferentes dos encontrados por MARSHALL et al., (1935 p. 24) — 1 e 2 ml/1; *Pseudocalanus elongatus* em uma concentração aproximada de 0.65-0.20 ml/1; *Oithona similis*, a 0.40-0.30 ml/1 *Oithona nana*, 1-0.90 ml/1; *Acartia clausii*, 0.17-0.12 ml/1; *Centropages kroyeri*, aproximadamente 1.10 e 1.20 ml/1; *Podon polyphaemoides*, 1.75-1.80 ml/1; *Pleurobrachia pileus*, 1.10-1.30 ml/1; larvas de Poliquetos, 0.20-0.13 ml/1. MARCUS (1937 p. 5) informa que Tardígrados anabióticos podem permanecer durante 7 meses em ambiente livre de oxigênio. WIESER and KANWISHER (1959 p. 597) testaram a resistência de Ácaros marinhos e Anfípodos à anoxia, bem como de Nemátodes (1961 p. 265), sendo que alguns destes últimos resistiram cerca de 50 dias. *Cardium edule* não sobrevive a uma grande redução do teor de oxigênio (ZENKEVITCH, 1963 p. 501), bem como *Balanus improvisus* (l.c. p. 504). De acordo com NICOL (1967 p. 146), *Ostrea virginica* resiste a condições anóxicas por uma semana ou mais. O Oligoqueto *Euliyodrilus heuscheri* e o Nemátode *Eudorylaimus andrassyi* sobreviveram depois de serem submetidos à anoxia por seis meses. Aliás, essas duas espécies já vivem oito meses na natureza sob condições anaeróbicas (POR and MASRY, 1968 p. 390).

JANSSON (1968b p. 54), FENCHELL et al. (1967 p. 238) estudaram a fauna intersticial de praias arenosas e verificaram a influência da tensão do oxigênio sobre a sua distribuição. HAGERMAN (1969 p. 389) informa que *Hirschmannia viridis* sobrevive em meio anaeróbico por 13 horas. THEEDE, PONAT, HIROKI e SCHLIEPER (1969 p. 330) realizaram uma série de experimentos com espécimes do Mar do Norte e do Mar Báltico, para testar a sua resistência a baixos valores de oxigênio. De um modo geral, os Bivalvos mostraram ser mais resistentes que os demais. Em seguida vêm os Gastrópodos, os Equinodermes e finalmente os Crustáceos. Essas diferenças estão relacionadas com os diferentes tipos de substrato em que as espécies ocorrem.

Em resumo, não obstante as inúmeras observações já feitas sobre o comportamento dos animais em ambiente com baixo teor de oxigênio, são ainda escassas as referências sobre os das regiões tropicais e subtropicais.

No presente trabalho pretendo, tendo em vista a importância do tema sugerido pelo Prof. Dr. Paulo Sawaya, expor os resultados das pesquisas efetuadas sobre a resistência de alguns Moluscos e Equinodermes do litoral norte paulista, à deficiência de oxigênio em condições experimentais e, posteriormente, comparar os resultados, dentro das possibilidades, com os obtidos em Kiel (República Federal da Alemanha), durante um estágio realizado no "Institut für Meereskunde" local, sob a orientação do Prof. Dr. Carl Schlieper.

Na Alemanha, as experiências foram feitas procurando relacioná-las com as regiões sujeitas a poluições, particularmente no que se refere à presença de H_2S . Como se pode deduzir pela literatura, essas regiões com deficiência de oxigênio estão muitas vezes relacionadas com a presença de H_2S (SVERDRUP *et al.* 1942 p. 802; RICHARDS, 1965 p. 617).

Deve-se anotar que o problema da resistência a condições de anoxia relacionado com a intensidade da poluição de várias regiões, principalmente da orla marinha, acha-se ainda praticamente aberto, tendo ultimamente despertado desusado interesse. Nas regiões tropicais do hemisfério sul, são quase inexistentes os estudos, tanto sobre a influência da poluição sobre a fauna marinha, como também a resistência ao abaixamento do teor de oxigênio. Justifica, portanto, dar grande atenção a estes diversos problemas. Iniciarei no presente trabalho pelo estudo da resistência de alguns Moluscos e Equinodermes ao baixo teor de oxigênio.

2.

O MATERIAL E SUA PROCEDÊNCIA

Foram estudadas as seguintes espécies, todas coletadas nas praias do Araçá (Fig. 1), do Segredo (ou Cabelo Gordo de Fora) e do Santiago, no litoral de São Sebastião (23° 48' 7" S; 45° 23' 29" W) e selecionadas de acordo com sua importância na alimentação humana, abundância e tipo de "habitat". A importância na alimentação foi considerada segundo as informações fornecidas pelos habitantes locais. Todos eles acham estes animais de valor para sua própria alimentação, na seguinte ordem: os "berbigões" (*Anomalo-*

cardia brasiliiana), os “mexilhões (*Mytilus perna*) e, a seguir as “tariovas” (*Iphigenia brasiliiana*). Os não comestíveis foram *Littorina ziczac*, *Neritina virginea*, *Echinaster brasiliensis* e *Asterina stellifera*.

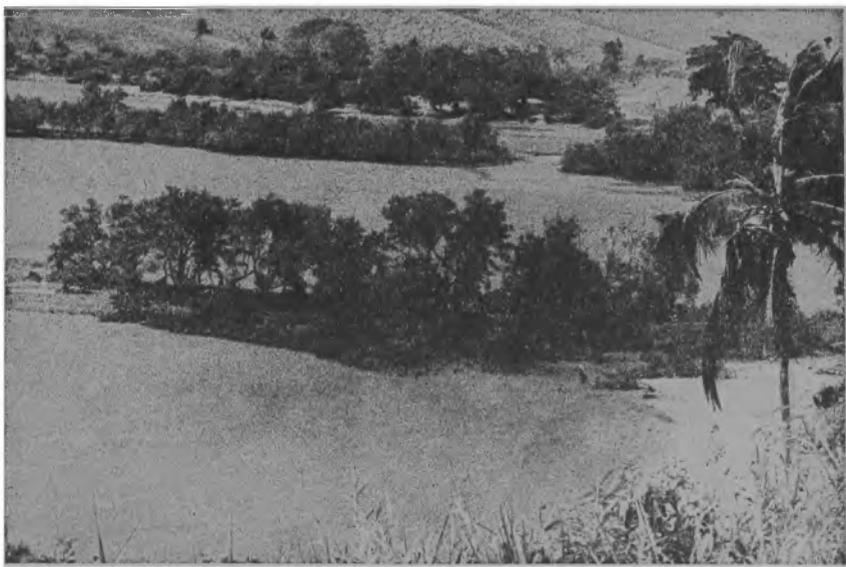


Fig. 1 - Vista geral da Praia do Araçá ao sul do porto de São Sebastião.



Fig. 2. Vista geral da Praia do Araçá

Distribuição de :

- A
- *A. brasiliana*
 - ▧ *I. brasiliana*
 - ◐ *O. verreauxii*
- B
- *L. ziczac*
 - ✕✕ *N. virginea*
 - ◆◆ *A. stellifera*
 - ✚✚ *E. brasiliensis*

- maré alta
- maré baixa média
- - - - baixa-mar

Escala: 1:2000

Anomalocardia brasiliana Gmelin, 1791

Fig. 3

Molusco bivalvo, também conhecido por “sernambitinga” (SANTOS 1955 p. 37) ou “berbigão”, muito apreciado pelos praiheiros como alimento. No litoral de Iguape é conhecido como “sarro-de-pito” (von IHERING, 1968 p. 628). Vive enterrado no lodo, na zona entre-marés. A concha é branco-amarelada, espessa, abaulada, com costelas concêntricas e desenhos em linhas curtas e densas em ziguezague. Aparece em grande quantidade no trecho compreendido entre o ponto de atracamento do “ferry boat” São Sebastião-Ilha de São Sebastião e a Praia do Araçá, inclusive (Figs. 2 e 4), bem como na Ilha de São Sebastião.

Distribuição geográfica: Das Índias Ocidentais até o litoral sul brasileiro (ABBOTT 1960 p. 409; WARMKE and ABBOT 1962 p. 187). LANGE DE MORRETES informa a sua ocorrência no Estado do Paraná (1949 p. 38). Foi assinalada ainda no Estado do Rio de Janeiro, São Paulo, em Santa Catarina, Rio Grande do Sul (BUCKUP e BUCKUP 1957 p. 16). Ainda no Estado de São Paulo, NARCHI (1969 p. 10) coletou-as em São Vicente, Santos e Ubatuba.

Iphigenia brasiliana Lamarck, 1818

Fig 5

Também conhecido como “tarioba” (von IHERING 1968 p. 676) ou “tariova”, este bivalvo comestível aparece com relativa abundância, enterrado na praia arenosa próxima ao ponto de atracamento do “ferry boat” de São Sebastião, bem como na Praia de Siriúba, na Ilha de São Sebastião. Os praiheiros localizam as “tariovas” por meio de orifíciozinhos, que são perceptíveis na praia por ocasião da maré vazante. Esses orifícios corresponderiam às comunicações dos animais com a superfície, o que se pode observar também em aquário com fundo de areia.

Distribuição geográfica: Do sul da Flórida (EUA) às Índias Ocidentais (ABBOTT, 1960 p. 439); WARMKE and ABBOTT (1962 p. 202). No Brasil, foi encontrada no Paraná e em Santa Catarina (LANGE DE MORRETES, 1949 p. 42; GOFFERJÉ, 1950

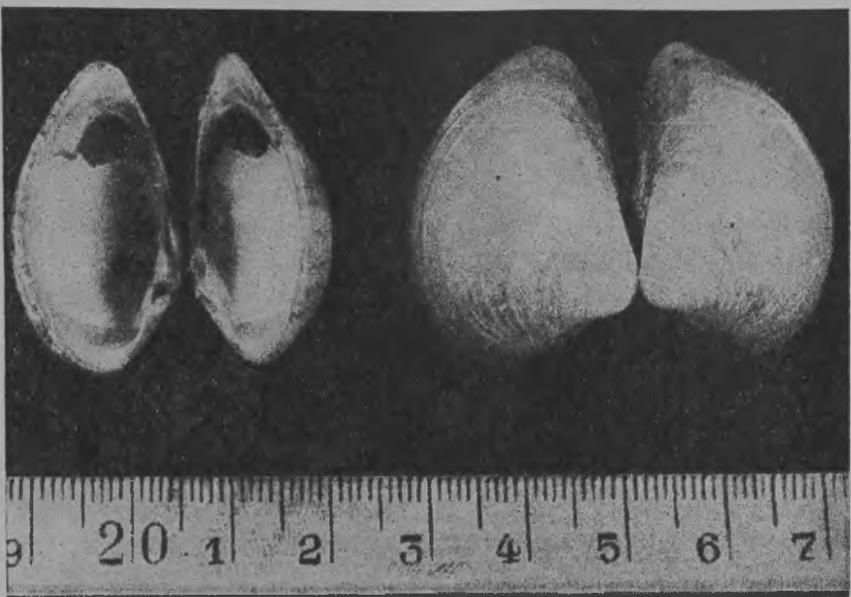


Fig. 3 - *Anomalocardia brasiliana*.



Fig. 4 - Praia do Araçá - vista do local onde vive *Anomalocardia brasiliana*

p. 272); na Guanabara (LANGE DE MORRETES, 1949 p. 42); em São Paulo, na Ilha de São Sebastião e em Bertioga (LANGE DE MORRETES, 1949 p. 42; BUCKUP e BUCKUP, 1957 p. 18).

Mytilus perna Linné, 1758

Fig. 6

Este bivalvo é comumente conhecido como “mexilhão” ou “marisco”. Constitui o maior dos mitílídeos brasileiros, chegando a atingir 14 cm de comprimento (KLAPPENBACH, 1965 p. 333). Também muito apreciado na alimentação. Vive fixo ao substrato, em geral rochoso, ao nível da linha das marés, em regiões bem batidas por ondas ou nos ancoradouros, como nos flutuadores do “ferry-boat” do porto de São Sebastião e outros.

Distribuição geográfica: No Brasil foi observado no Rio de Janeiro, São Paulo (KLAPPENBACH, 1965 p. 335; GOFFERJÉ, 1950 p. 257), no Rio Grande do Sul, Pernambuco, nas costas uruguaias e também na Venezuela, segundo KLAPPENBACH (1965 p. 335). Este autor indica *Mytilus perna* de São Sebastião como *Perna perna*, com base na diagnose de SOOT-RYEN (1955 p. 30), bastante precária. Até que, com material abundante e adequado do litoral brasileiro, se possa estabelecer a diagnose, prefiro manter como *Mytilus perna* o material coletado. A determinação de *Mytilus perna* foi feita no Museum of Comparative Zoology da Harvard University (U.S.A.).

Littorina ziczac Gmelin, 1791

Fig. 7

Gastrópode de concha pequena, de aproximadamente 1 cm de comprimento, acinzentada, com desenhos em ziguezague de coloração castanha ou castanho-púrpura. Aparece em abundância nas rochas, no supra-litoral, até mais ou menos 2 m acima do nível da maré alta.

Distribuição geográfica: Da Flórida ao Texas (EUA), Índias Ocidentais, Bermudas, até o litoral brasileiro (ABBOTT, 1960 p. 132; WARMKE and ABBOTT, 1962 p. 53).



Fig. 5 - *Iphigenia brasiliensis*.

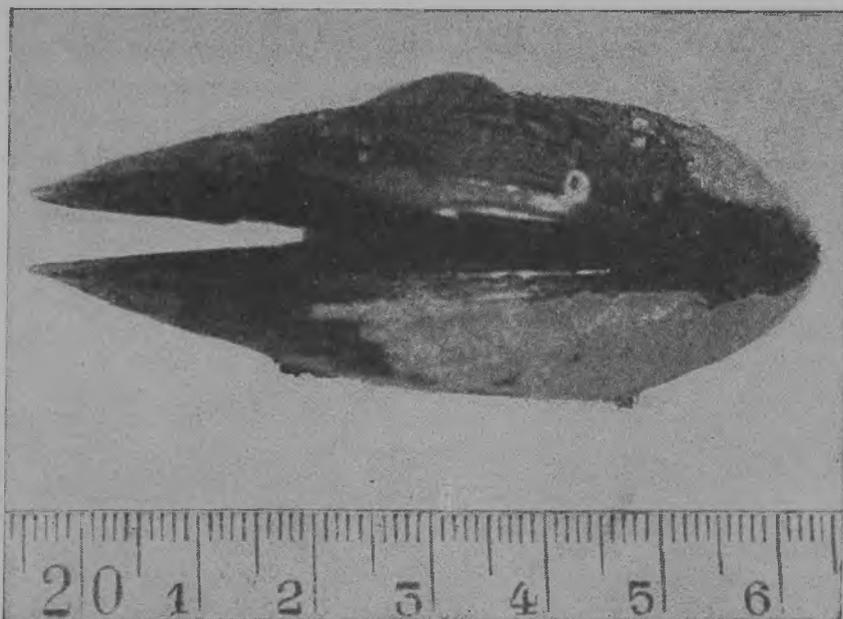


Fig. 6 — *Mytilus perna*.

Neritina virginea Linné, 1758

Fig. 8

Este gastrópode apresenta grande variedade de padrões e cores nas conchas. É comum entre as raízes aéreas da região de mangue da Praia do Araçá (Fig. 2, 9 e 10). Conhecido como “aruá-do-mangue” em Pernambuco (SANTOS, 1955 p. 85).

Distribuição geográfica: Da Flórida ao Texas (EUA), Índias Ocidentais, Bermudas (ABBOTT, 1960 p. 128; WARMKE and ABBOTT, 1962 p. 50). No Brasil, foi observada no Paraná (LANGE DE MORRETES, 1949 p. 63; GOFFERJÉ, 1950 p. 233), no Rio de Janeiro e na Ilha de São Sebastião (SP), (BUCKUP e BUCKUP 1957 p. 21).

Olivella (Niteoliva) verreauxii (Ducros, 1857)

Fig. 11

Pequeno gastrópode de aproximadamente 1 cm de comprimento, abundante nas praias de São Sebastião, principalmente na Praia do Araçá (Fig. 2), onde podem ocorrer cerca de 100 exemplares em 0.25 m². Apresenta concha alongada, acinzentada e brilhante, com desenhos de coloração escura em ziguezague. Como as demais *Olivella* (OLSSON, 1956 p. 164), *Olivella verreauxii* vive na zona entre-marés, recoberta por uma fina camada de areia lódosa. Este animal, ao caminhar, forma curiosos desenhos na areia da praia (Fig. 12).

Distribuição geográfica: Das Índias Ocidentais à costa norte da América do Sul (OLSSON, 1956 p. 189). MARCUS e MARCUS (1959 p. 189) coletaram alguns exemplares nas imediações de Ubaituba (SP) e descreveram vários aspectos da reprodução. SAWAYA (comunicação pessoal) encontrou-a no litoral do Paraná.

Asterina stellifera Moebius, 1859

Fig. 13

Este asteróide aparece com bastante freqüência nas praias rochosas de São Sebastião (Fig. 2), onde se confunde com a coloração das rochas. A maioria das vezes fica imerso, mesmo por oca-

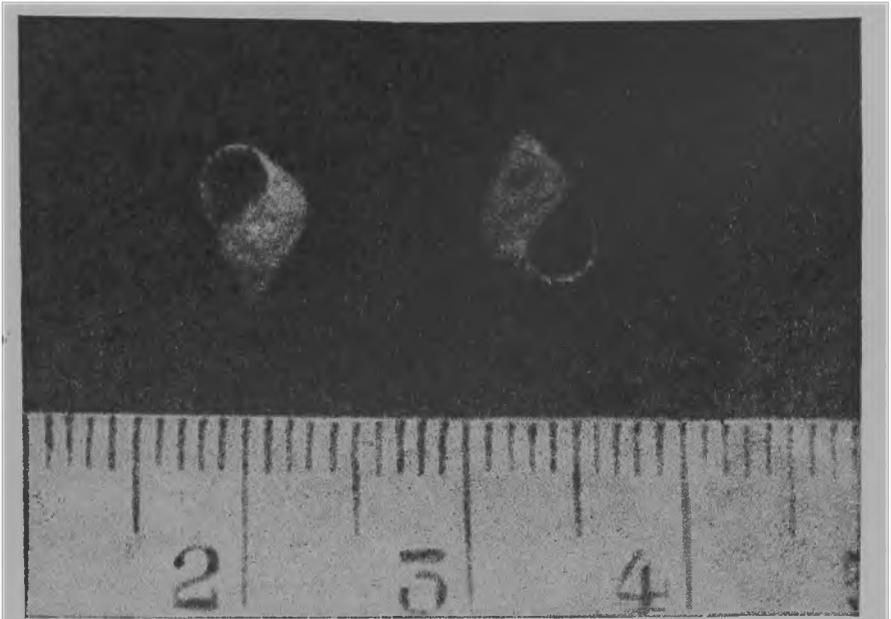


Fig. 7 — *Littorina ziczac*



Fig. 8 - *Neritina virginea*.

sião das marés baixas normais. Em agosto, setembro e outubro, quando as marés vazantes são excepcionalmente baixas, são encontrados expostos, mas mesmo assim em locais bem úmidos e geralmente à sombra. Trata-se de uma espécie bastante voraz. Nos aquários dos laboratórios do Instituto de Biologia Marinha chegaram a alimentar-se de *Littorina flava*, *Mytilus perna*, *Anomalocardia brasiliana*, *Holothuria grisea* e a praticar, inclusive, o canibalismo. Vivem permanentemente com o estômago exteriorizado.

Distribuição geográfica: Aparece ao longo da costa atlântica, tanto africana quanto americana (TORTONESE, 1962 p. 3). No Brasil, foi registrada a sua ocorrência em Pernambuco, Bahia (Baía de Todos os Santos, Abrolhos), Ilha de Trindade e São Paulo (BRITO, 1962 p. 3).

Na determinação desta espécie seguiu TORTONESE (1.c.) e as indicações de SAWAYA (comunicação pessoal) por ele recebidas da Smithsonian Institution de Washington.

Echinaster brasiliensis Müller & Troschel, 1842

Fig. 14

Asteróide de coloração vermelho-brilhante, medindo cerca de 14 cm de diâmetro. Freqüente nas praias rochosas do Canal de São Sebastião, como por exemplo, na Praia do Araçá (Fig. 2). Bastante voraz, dizimador natural de "mexilhões".

Distribuição geográfica: Da Flórida (EUA) ao Brasil. Muito comum em Pernambuco, Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo (BRITO, 1962, p. 2).

Anomalocardia brasiliana, *Neritina virginea* e *Olivella verreauxii* foram coletadas na Praia do Araçá; *Littorina ziczac* e *Echinaster brasiliensis* na Praia do Cabelo Gordo de Fora (ou do Segredo); *Iphigenia brasiliana*, ao lado da Praia do Araçá (Fig. 2); *Asterina stellifera* no costão, entre as praias do Cabelo Gordo de Dentro e Zimbro, ao sul da Praia do Araçá. *Mytilus perna* foi capturado também em Santiago, aproximadamente 30 km ao sul de São Sebastião.

3

MÉTODO E TÉCNICA DE EXPERIMENTAÇÃO

Os critérios utilizados para verificar a sobrevivência dos espécimes foram os seguintes:

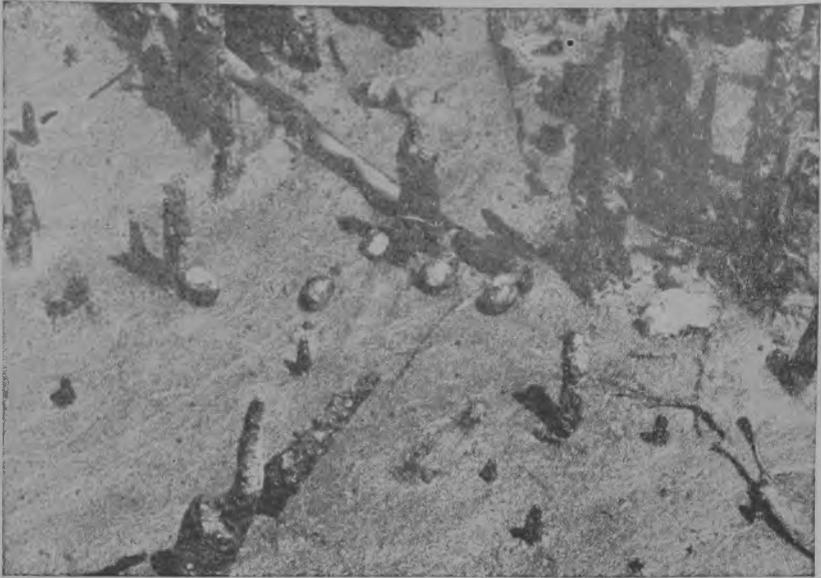


Fig. 9 - Pormenores do "habitat" de *N. Virginea*, espalhados entre os pneumatóforos.



Fig. 10 - Raízes aéreas do manguezal onde vive *N. Virginea*.

- a) para os Bivalvos, o movimento de abrir e fechar as valvas;
- b) para os Gastrópodes, o de sair e entrar na concha, quando estimulados; e
- c) para os Asteróides, a manutenção do reflexo de virar.

Distribuí por sifonagem a água assim preparada, em frascos de 60, 100, 250 e 500 ml, já contendo os animais selecionados. Deixei escorrer, pelo menos uma vez, o volume de água de cada um dos frascos, com a finalidade de diminuir a possível redifusão do oxigênio na água. Evitou-se a formação de bolhas de ar. Fechados os frascos, lacrei-os com parafina, coloquei-os em temperatura constante ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$) e no escuro.

Determinei o L_{T50} de cada espécie (morte de 50% dos indivíduos), após transferência dos exemplares das condições experimentais para água do mar, em cristalizadores, e depois para aquários com água do mar corrente, onde os mesmos permaneceram por determinado tempo de recuperação, segundo a espécie considerada.



Fig. 11 - *Olivella verreauxii*.

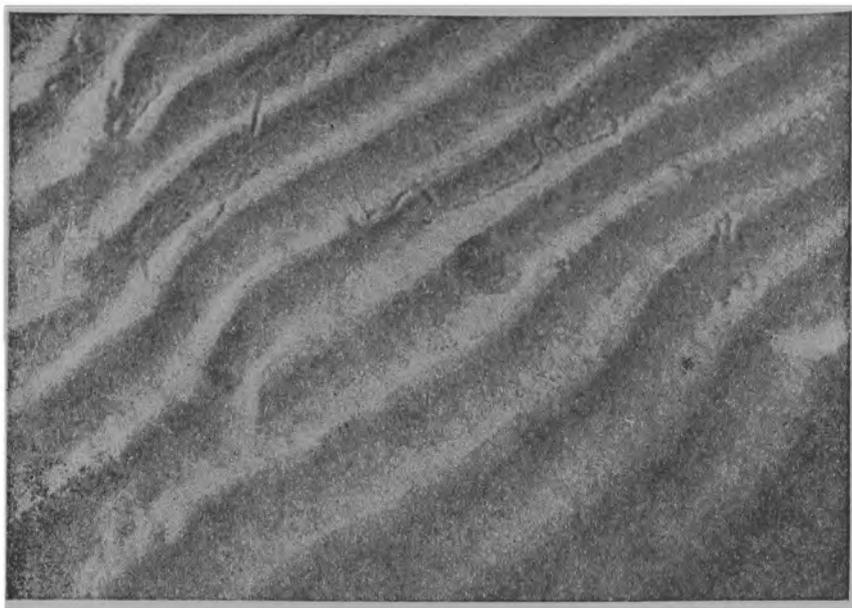


Fig. 12 - Desenhos labirínticos feitos.

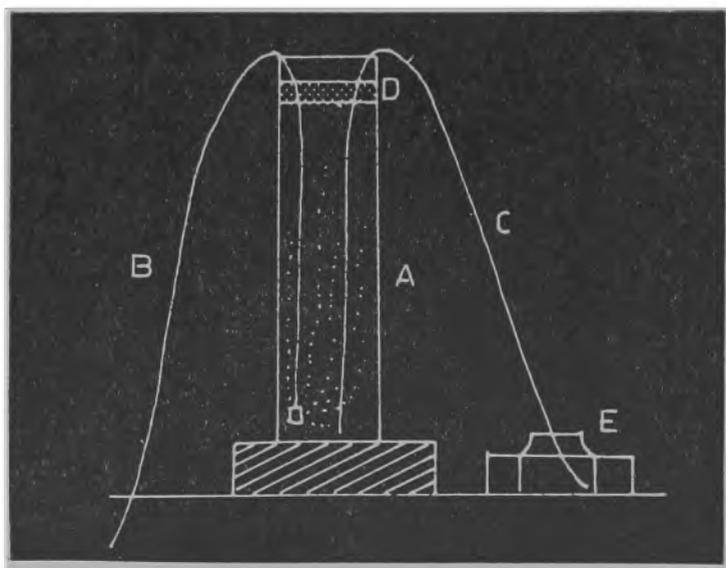


Fig. 15 - Aparelhagem utilizada na obtenção de água do mar com baixas concentrações de oxigênio: A — recipiente de vidro; B — tubo de entrada de nitrogênio; C — tubo de saída da água preparada; D — camada de vaselina líquida; E — frasco receptor.

4.

PARTE EXPERIMENTAL

Medida da resistência dos animais

Colocado cada animal nos respectivos frascos com a água do mar preparada, como descrito acima, seis horas depois era o mesmo examinado fora do frasco e, de acordo com a reação apresentada, transferido para um recipiente com água do mar, com 3 a 4 ml O_2 /l.

A escolha do período de seis horas para o exame foi com a intenção de seguir o período das marés, que é bastante nítido em São Sebastião. Como se sabe, neste litoral há dois períodos bem acentuados de baixa-mar e dois de preamar, cada um de seis horas de duração. Na zona entre as marés é que se coletaram os animais para o presente estudo. São animais que habitualmente, nos períodos de baixa-mar, ficam totalmente expostos à atmosfera. As reações apresentadas pelos Bivalvos, ou seja, a abertura espontânea das valvas, o movimento de abertura do opérculo dos Gastrópodes, ou a demora em iniciar o reflexo de virar dos Asteróides eram anotados e tomados, como disse, como índices de limite de resistência. Se quando em ambiente oxigenado não mostravam reação alguma, eram considerados mortos.

Os resultados acham-se indicados na tabela que se segue:
Resistência de invertebrados marinhos do Canal de São Sebastião em condições praticamente anaeróbicas. $O_2 < 0.2$ ml/l; T° ambiente $25^\circ C \pm 1^\circ$; salinidade 34%.

E S P É C I E	resistência L _{T50} em horas *
MOLUSCOS	
a) Bivalvos	
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	240
<i>Mytilus perna</i>	120
<i>Iphigenia brasiliana</i>	>48
b) Gastrópodes	
<i>Neritina virginea</i>	138
<i>Littorina ziczac</i>	72
<i>Olivella verreauxii</i>	>6<12
EQUINODERMES	
a) Asteróides	
<i>Asterina stellifera</i>	~ 96
<i>Echinaster brasiliensis</i>	36

* As médias foram obtidas de 10 animais.

5.

RESULTADOS

Como se vê, das espécies estudadas, os Moluscos Bivalvos são, de um modo geral, os mais resistentes, seguindo-se-lhes os Gastrópodes e os Asteróides. Dentro de um mesmo filo há grandes diferenças, como no caso das *Olivella verreauxii* que resistem menos de 12 horas em condições anóxicas, e as *Anomalocardia brasiliana*, que resistem 240 horas.

Pela técnica utilizada, como foi referido, tive em mira tão somente avaliar esses períodos de sobrevivência, levando em conta só as condições do ambiente em que os animais vivem. Selecionei apenas os animais que comumente se encontram na zona entre-marés, com a exceção das *Littorina ziczac*, numa praia em grande parte lódica de mangue e também rochosa (Fig. 1). Sendo os animais de estruturas muito diferentes, que condicionam implicações bastante diversas, principalmente no que se refere à respiração, é claro que, sob este ponto de vista não sejam comparáveis. Procurei verificar a resistência de cada um desses animais, justamente por serem de estruturas diferentes, mas de hábitos aproximadamente semelhantes.

Realmente, os Bivalvos todos dependem do funcionamento de estruturas ciliadas para a respiração, do que decorre a exigência de correntes de água com um mínimo de teor de oxigênio. Quando este falta ou decresce de quantidade, o recurso do animal é evitar a corrente de água e armazenar dentro da cavidade das valvas o oxigênio de que irá valer-se, podendo mesmo entrar em débito de oxigênio.

Nenhum deles, é de interesse notar, é completamente anaeróbico, embora o modo de vida de cada um varie bastante. Assim, *Anomalocardia brasiliiana* vive enterrada na praia lodosa; *Mytilus perna*, como se sabe, adere aos diversos substratos que encontra, como rochas, pilares de portos etc., em geral de regiões mais ou menos fortemente batidas por ondas; o bivalvo *Iphigenia brasiliiana* habitualmente se enterra na areia de praias à cerca de 10 cm de profundidade, mas com os sifões bem estendidos para superfície; *Neritina virginea* habita o mangue, entre os pneumatóforos e, portanto, em regiões geralmente de baixo teor de oxigênio; *Olivella verreauxii* afloira na superfície de praias areno-lodosas; *Asterina stellifera* vive sobre rochas, em ambiente bem úmido, bem como *Echinaster brasiliensis*. Estes dois Asteróides raramente se encontram em lugares completamente desprovidos de água, ficando expostos somente durante as marés excepcionalmente baixas.

Como se vê, todos os animais estudados, em período superior a seis horas vivem fora d'água, e também resistem por mais de seis horas em condições anóxicas. Restrição seja feita à *Littorina ziczac*, que vivem no supra-litoral e passam a maior parte do tempo expostas.

6.

DISCUSSÃO

Das informações colhidas na literatura, destacam-se as de von BRAND (1946 p. 87), que diz serem as funções anaeróbicas mais pronunciadas nos Bivalvos que nos Gastrópodes, entre os Moluscos, e que os Gastrópodes parecem ter sido os primeiros invertebrados a serem submetidos à anoxia (p. 94).

Os resultados dos experimentos concordam com von BRAND. Realmente, de um modo geral (Tabela), os Bivalvos resistiram mais

que os Gastrópodes à deficiência de oxigênio. O mesmo se conclui dos dados obtidos por THEEDE, PONAT, HIROKI e SCHLIEPER (1969 p. 330), com espécies do Mar Báltico e do Mar do Norte.

Levando-se em conta o "habitat" dos animais estudados, poder-se-ia admitir que a maior resistência de *Anomalocardia brasiliiana* à deficiência de oxigênio se acha relacionada com o fato deste Bivalvo viver normalmente enterrado em substrato areno-lodoso de praias protegidas, como é o caso da Praia do Araçá (Fig. 1). Aliás, exemplares desta espécie foram mantidos durante três dias fora d'água, em ambiente úmido e, quando recolocados em água corrente do mar, abriram lentamente as valvas e aparentemente estavam normais, com os sifões estendidos.

Mytilus perna, como foi dito, vivem em zonas em geral batidas e, portanto, com regular suprimento de oxigênio a daí a deficiência deste gás ser menos tolerada por este Bivalvo. Além disso, os *Mytilus* dispõem da capacidade de se desprender de um substrato e procurar outro, quando lhes convém. Vale anotar que *Mytilus edulis*, do Mar do Norte, resistiu à anoxia por 840 horas (THEEDE *et al.*, 1969 p. 330) ou seja, sete vezes mais que a nossa espécie. O mesmo acontece com *Iphigenia brasiliiana*, que se enterra em praias arenosas de granulação grosseira, mais ou menos batidas, com os sifões bem estendidos para a superfície. Aliás, próximo ao flutuador do "ferry-boat" de São Sebastião, nota-se perfeitamente o limite entre o substrato arenoso onde vivem as *Iphigenia brasiliiana* e, mais abaixo, isto é, em direção à água, o substrato areno-lodoso, onde aparecem as *Anomalocardia brasiliiana*. Nesta altura começa a desprender-se o cheiro característico de H₂S.

Por outro lado, todos os Bivalvos considerados são da zona entre-marés e, conseqüentemente, ficam expostos à atmosfera durante a baixa-mar. Quando isso ocorre, fecham hermeticamente as valvas. Considerando ainda que os Bivalvos se locomovem lentamente, em comparação com os Gastrópodes e os Asteróides, seria natural que dispusessem de meios para suportar uma mudança eventual das condições ambientais, ou seja, uma tolerância por mais tempo.

Quanto aos Gastrópodes, *Neritina virginea* e as *Olivella verreauxii* vivem na zona entre-marés, todas em lugares úmidos, os primeiros entre os pneumatóforos dos manguezais (Fig. 9) e os últi-

mos sob uma fina camada de areia lodosa. *Neritina virginea* é bem mais resistente que *Olivella verreauxii*. Acontece porém, que aqueles dispõem de um opérculo, o mesmo não acontecendo com estes últimos e, portanto, com menores possibilidades de proteção. Observando-se o comportamento de *Olivella* no próprio ambiente em que vive, durante a maré baixa, bem como nos aquários, tem-se que é bastante ativa, o que acontece com *Neritina*. Note-se que esta é mais resistente que *Mytilus perna*.

Littorina ziczac constitui um caso especial, pois pertence ao supra-litoral e, assim, passa a maior parte do tempo recebendo somente respingos d'água ou sendo atingida apenas pelas ondas mais fortes.

Julgo de interesse acrescentar aqui informações pertinentes ao assunto em estudo, colhidas da bibliografia disponível. Deve-se lembrar que, aparentemente, alguns Prosobrânquios são resistentes à anoxia. Isso pode ser aplicável a Gastrópodes do litoral superior e aos Litorinídeos durante períodos de exposição ao ar. Não se sabe se tais Gastrópodes reservam O₂ para vencer tais períodos (HYMAN, 1967 p. 390). Os Litorinídeos ficam muito tempo fora d'água, durante o qual a cavidade fica cheia de ar; quando submergem, a cavidade do manto enche-se de água (HYMAN, 1.c. p. 205; NICOL, 1967 p. 147).

O caso de *Littorina* é peculiar. Como se sabe, este Gastrópode mostra uma redução das brânquias e desenvolvimento de um epitélio vascularizado do manto, especialmente nas espécies que ocorrem acima do médio litoral (NICOL, 1967 p. 147). *Littorina ziczac*, vivendo no supra-litoral, também deve apresentar essa modificação estrutural. Por outro lado, REMMERT (1968 p. 5) informa que não se observa uma redução das brânquias de *Littorina*, nas espécies que vivem mais tempo emersas.

Não poucas são as pesquisas realizadas com relação à respiração dos Litorinídeos. FISCHER *et. al.* (1933 p. 631) dizem que o consumo de oxigênio de *Littorina neritoides* na água é cinco a seis vezes maior que no ar e que no ar é inativa e vive retraída; conclui-se destas pesquisas que a espécie em questão leva uma vida praticamente latente, quando em ambiente seco, diminuindo seus movimentos. *Littorina littorea*, do litoral inferior e *Littorina obtusata*, do médio litoral, consomem oxigênio em maior porcentagem no ar que na água, enquanto que *Littorina saxatilis* que vive no supra-lito-

ral, tem um consumo maior quando submersa (ZIEG, 1960 p. 351). Segundo THEEDE *et. al.* (1969 p. 330), *Littorina saxatilis* resistiu somente 144 horas em condições anaeróbicas e *Littorina littorea* 365 horas.

No que se refere aos dois Asteróides, *Asterina stellifera* é mais resistente do que *Echinaster brasiliensis*. Dos poucos dados existentes sobre a resistência de Asteróides à anoxia tem-se que *Asterias-rubens*, do Mar do Norte, resiste 84 horas sob tais condições (THEEDE *et al.*, 1969 p. 330). Os Asteróides, como já foi anteriormente referido, locomovem-se com relativa facilidade sobre os substratos e estarão, portanto, aptos a deslocarem-se de um lugar para outro, se por acaso o ambiente se lhes torne desfavorável.

É interessante salientar que *Mytilus perna* e *Anomalocardia brasiliiana* são mais resistentes que seus inimigos naturais, *Asterina stellifera* e *Echinaster brasiliensis*.

Dos animais por mim pesquisados, somente as diversas *Littorina* merecem maior interesse por parte dos investigadores. Quanto aos demais, não me foi possível encontrar referências, especialmente sobre a anoxibiose.

Agradecimentos ao Prof. Dr. Paulo Sawaya, diretor do Instituto de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo, pela leitura e correção do texto, bem como pelas facilidades concedidas na utilização dos laboratórios do referido Instituto, e à bolsa de estudos concedida pela Reitoria da Universidade de São Paulo.

7.

BIBLIOGRAFIA

- ABBOTT, R.T. — 1960 — American Seashells. xiii + 541 pp. D. van Nostrand Co., New York, Princeton.
- BRAND, T. von — 1927 — Stoffbestand und Ernährung einiger — Polychaeten und anderer mariner Würmer. Z. vergl. Physiol., 5: 643-698.
- — 1946 — Anaerobiosis in Invertebrates. 328 pp. Biodynamica, n.º 4, Missouri.
- BRITO, I.M. — 1962 — Ensaio de catálogo dos Equinodermas do Brasil. Centr. Est. Zool. Fac. Nac. Fil., Avulso 3: 1-11.
- BRONGERSMA-SANDERS, M. — 1957 — Mass mortality in the sea. Em: HEDGPETH, J.W. — 1957 — Treatise on marine ecology and paleoecology. 1, Ecology: 941-1010, Waverly Press, Baltimore.

- BUCKUP, L. e E.H. BUCKUP — 1957 — Catálogo dos Moluscos do Museu Riograndense de Ciências Naturais. Iheringia, 1: 1-40.
- CASPERS, H. — 1957 — Black Sea and Sea of Azow. Em: HEDGPETH, J.W. — 1957 — Treatise on marine ecology and paleoecology. 1, Ecology: 801-890, Warverly Press, Baltimore.
- CHILDRESS, J.J. — 1968 — Oxygen minimum layer: vertical distribution and respiration of the mysid *Gnathopausia ingens*. Science, 160 (3833): 1242-1243.
- DALES, R.P. — 1958 — Survival of anaerobic periods by two intertidal polychaetes *Arenicola marina* (L.) and *Owenia fusiformis* Delle Chiaje. J. mar. biol. Ass. U.K., 37 (2): 521-529.
- FENCHEL, T. and B.O. JANSSON — 1966 — On the vertical distribution of the microfauna in the sediments of a brackish-water beach. Ophelia, 3: 161-177.
- FENCHEL, T., B.O. JANSSON and W. von THUN — 1967 — Vertical and horizontal distribution of the metazoan microfauna and some physical factors in a sandy beach in the northern part of the Oresund. Ophelia, 4 (2): 227-243.
- FISCHER, P.H., M. DUVAL et A. RAFFY — 1933 — études sur les échanges respiratoires des littorines. Arch. Zool. exp. gén., 74 627-634.
- GOFFERJÉ, C.N. — 1950 — Contribuição à zoogeografia da malacofauna do litoral do Estado do Paraná. Arq. Mus. Paran., 8: 221-282.
- GORDON, M.S. — 1960 — Anaerobiosis in marine sandy beaches. Science, 132 (3427): 616-617.
- HAGERMAN, L. — 1969 — Respiration, anaerobic survival and diel locomotory periodicity in *Hirschmannia viridir* Müller (Ostracoda). Oikos, 20 (2): 384-391.
- HEILBRUNN, L.V. — 1955 — An outline of general physiology. xiii + 818 pp. W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- HYMAN, L.H. — 1967 — The Invertebrates, Mollusca I. viii + 792 pp. McGraw-Hill Book Co., New York, St. Louis and San Francisco.
- IHERING, R. von — 1968 — Dicionário dos animais do Brasil, 790 pp. Editora Univ. de Brasília, São Paulo.
- JANSSON, B.O. — 1968a — The availability of oxygen for the interstitial fauna of sandy beaches. J. exp. mar. Biol. Ecol., 1: 123-143.
- — 1968b — Quantitative and experimental studies of the interstitial fauna in four Swedish sandy beaches. Ophelia, 5 (1): 1-71.
- KLAPPENBACH, M.A. — 1965 — Lista preliminar de los Mytilidae brasileños con claves para su determinación y notas sobre su distribución. An. Acad. Bras. Ciên., 37: 327-352.
- LANGE DE MORRETES, F. — 1949 — Ensaio de catálogo dos Moluscos do Brasil, Arq. Mus. Paran., 8: 3-216.
- LONGHURST, A.R. — 1967 — Vertical distribution of zooplankton in relation to the eastern Pacific oxygen minimum. Deep-Sea Res., 14: 51-63.
- MARCUS, E. — 1937 — Sobre a anabiose dos Tardígrados, com descrição duma nova espécie. Bol. Biol., 3 (5): 7-13.
- MARCUS, E. and E. MARCUS — 1959 — On the Reproduction of *Olivella*. Bol. Fac. Ciên. Letr., Univ. São Paulo, Zool. 22: 189-199.
- MARSHALL, S.M., A.G. NICHOLLS and A.P. ORR — 1935 — On the biology of *Calanus finmarchicus*. Part. VI Oxygen consumption in relations to environmental conditions. J. mar. biol. Ass. U.K., 20 (1): 1-25.

- MOORE, H.B. — 1931 — The muds of the Clyde Sea area. III. Chemical and physiological conditions; rate and nature of sedimentation and fauna. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 17: 325-358.
- NARCHI, W. — 1969 — Anatomia funcional de alguns Bivalvos do litoral do Estado de São Paulo. 128 pp. Tese apresentada ao Concurso de Livre Docência junto à Cadeira de Zoologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo.
- NICOL, J.A.C. — 1967 — The biology of marine animals. xi + 699 pp. Isaac Pitman & Sons Ltd., London.
- NIKITINE, B.M. et E. MALM — 1934 — L'influence de l'oxygène, des ions hydrogène et de l'acide carbonique sur la distribution verticale du Plankton de la Mer Noire. *Ann. Inst. Océanogr.*, Monaco, 14: 137-171.
- OLSSON, A.A. — 1956 — Studies on the genus *Olivella*. *Proc. Acad. Nat. Sci.*, Philadelphia, 108: 155-226.
- POR, F.D. and D. MASRY — 1968 — Survival of a nematode and an oligochaete species in the anaerobic benthos of Lake Tiberias. *Oikos*, 19 (2): 388-391.
- REMMERT, H. — 1968 — Die *Littorina*-Arten: Kein Modell für die Entstehung der Landschnecken. *Oecologia*, 2 (1): 1-6.
- RICHARDS, F.A. — 1957 — Oxygen in the ocean. E: HEDGPETH, J.W. *Treatise on marine ecology and paleoecology*, 1, Ecology: 185-238. Waverly Press, Baltimore.
- — 1965 Anoxic basins and fjords. Em: RILEY, J.P. and G. SKIRROW — *Chemical oceanography*, 1: 611-645. Acad. Press, London and New York.
- SANTOS, E. — 1955 — *Moluscos do Brasil*. 135 pp. R. Briguiet & Cia., Rio de Janeiro.
- SAWAYA, P. — 1945 — Sobre a proteção da água contra o oxigênio do ar com o auxílio de óleos minerais e vegetais. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr.*, Univ. São Paulo, Zool. 10: 135-151.
- SEGERSTRALE, S.G. — 1957 — Baltic Sea. Em: HEDGPETH, J.W. — *Treatise on marine ecology and paleoecology*: 751-800, Waverly Press, Baltimore.
- SEWELL, R.B.S. and L. FAGE — 1948 — Minimum oxygen layer in the ocean. *Nature*, London, 162 (4129): 949-951.
- SOOT-RYEN, T. — 1955 — A report on the family Mytilidae (Pelecypoda). *Allan Hancock Pac. Exp.*, 20 (1): 1-175.
- SVERDRUP, H.U., M.W. JOHNSON and R.H. FLEMING — 1942 — *The Oceans. Their physics, chemistry and general biology*. x + 1087 pp. Prentice-Hall Inc. New York.
- THEEDE, H., A. PONAT, K. HIROKI and C. SCHLIEPER — 1969 — Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen deficiency and hydrogen sulphide. *Mar. Biol.*, 2 (4): 325-337.
- TORTONESE, E. — 1962 — Un Asteroide nuovo per il Mediterraneo: *Asterina stellifera* (Moeb.). *Doriana*, 3 (118): 1-7.
- TULKKI, P. — 1960 — Studies on the bottom fauna of the Finnish southwestern archipelago. I. Bottom fauna of the Airisto Sound. *Ann. Zool. Soc. "Vanamo"*, 21 (3): 1-26.
- — 1965 — Disappearance of the benthic fauna from the basin of Bornholm (Southern Baltic) due to oxygen deficiency. *Cah. Biol. Mar.*, 6 (4): 455-463.
- WALDICHUK, M. — 1968 — Biological effects of water pollution. *Chemistry in Canada*, 20: 1-4.

- WARMKE, G.L. and R.T. ABOOT — 1962 — Caribbean Seashells. x + 348 pp. Livingston Publishing Co., Narbeth, Pennsylvania.
- WATTENBERG, H. — 1929 — Die Durchlüftung des Atlantischen Ozeans. J. Cons. perm. int. Explor. Mer., 4 (1): 63-79.
- WIESER, W. and J. KANWISCHER — 1959 — Respiration and anaerobic survival in some sea weed-inhabiting invertebrates. Biol. Bull., 117 (3): 594-600.
- — 1961 — Ecological and physiological studies on marine nematodes from a small salt marsh near Woods Hole, Massachusetts. Limnol. Oceanogr. 6 (3): 262-270.
- ZENKEVITCH, L. — 1963 — Biology of the seas of the U.S.S.R. 955 pp. Interscience Publishers, New York.
- ZENKOVITCH, V.P. — 1966 — The Black Sea. Em: The Encyclopedia of Oceanography: 145-150, Reinhold Publishing Corporation, New York.
- ZIEG, R.G. — 1960 — Metabolism of three species of *Littorina* in and out of water. Biol. Bull., 119 (2): 351.

