



**Compartimentos Ambientais do Estuário do Rio Arade, Sul de Portugal, com Base na Distribuição e Ecologia de Foraminíferos**

**Environmental Compartments of Arade River Estuary, South of Portugal, Based on Distribution and Ecology of Foraminifera**

Lazaro Luiz Mattos Laut<sup>1</sup>; Isis de Almeida Cabral<sup>1</sup>; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues<sup>2</sup>;  
Frederico Sobrinho Silva<sup>3</sup>; Maria Virgínia Alves Martins<sup>2,4</sup>; Tomasz Boski<sup>5</sup>;  
Ana Isabel Gomes<sup>5</sup>; João Manuel Alverinho Dias<sup>5</sup>; Luiz Francisco Fontana<sup>3</sup>;  
Vanessa Mattos Laut<sup>3</sup> & João Graciano de Mendonça-Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Laboratório de Micropaleontologia, Departamento de Ciências Naturais, Av. Pasteur, 458, IBIO/CCET sala 500 Urca, 22.240-490, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Av. São Francisco Xavier, 524, sala 400A, Maracanã. 20550-013. Rio de Janeiro – RJ, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica, Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Bloco F Ilha do Fundão - Cidade Universitária. 21.949-900. Rio de Janeiro – RJ, Brasil

<sup>4</sup> Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, CESAM, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal

<sup>5</sup> Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Edifício 7, Campus Universitário de Gambelas, 8005-139, Faro, Portugal

E-mails: lazarolaut@hotmail.com; isisdealmeidacabral@yahoo.com; tutucauerj@gmail.com; fsobrinho@gmail.com; virginia.martins@ua.pt; tboski@gmail.com; aigomes@ualg.pt; j.dias@ualg.pt; lffontana@gmail.com; vanessalaut@hotmail.com; graciano@igeo.ufrj.br

Recebido em: 05/03/2014 Aprovado em: 23/09/2014

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2014\\_2\\_60\\_74](http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_60_74)

**Resumo**

Em setembro de 2010 foram coletadas cinco amostras de sedimento ao longo do estuário do rio Arade objetivando a identificação de compartimentos ambientais como base na distribuição das espécies de foraminíferos e sua relação com os parâmetros físico-químicos, sedimentológicos e geoquímicos. Foram identificadas 39 espécies de foraminíferos, sendo 31 espécies calcárias e 8 espécies aglutinantes, o que demonstra uma grande riqueza de espécies no estuário. As espécies dominantes foram *Ammonia tepida* e *Haynesina germanica* que foram identificadas em todas as estações amostrais. A região da foz do estuário apresentou maior riqueza de espécimes (31) e maior diversidade (2,73) demonstrando a forte influência marinha nesta região. Aplicando a análise multivariada em DAC foi possível identificar três setores no estuário: Setor A – região de maior influência marinha que apresenta alta concentração de carbono inorgânico, sedimento arenoso e um grande número espécies exóticas transportadas da plataforma adjacente (*Cibicides bertheloti*, *Asterigerinata mammila*, *Bolivina ordinaria* and *Bolivina elongata*); Setor B – região intermediária do estuário com sedimento lamoso, carbono orgânico elevado e composto por espécies típicas de estuários. Setor C – região mais confinada do estuário, com sedimento lamoso, maior concentração de carbono orgânico em relação ao setor B, que é representado por espécies de foraminíferos aglutinantes e *Ammonia parkinsoniana*.

**Palavras-chave:** Foraminíferos; estuário de mesomare; compartimentação estuarina

**Abstract**

In September 2010 five sediment samples were collected along the estuary of the Arade River aimed to identify environmental compartments based on the distribution of foraminifera species and their relationship with physic-chemical, sedimentological and geochemistry parameters. In the estuary were identified 39 foraminifera species, from wich 31 were calcareous species and 8 agglutinated species that which showed the great species richness values in Arade Estuary. The dominant species were *Ammonia tepida* and *Haynesina germanica* that were identified in all sample stations. The mouth of estuary showed the highest values of richness of specimens (31) and diversity (2.73) that demonstrated the strong marine influence in this region. Applying DAC multivariate analysis was possible to identify three areas in the estuary: Section A - region of greater marine influence that has a high concentration of inorganic carbon, sandy sediment and a large number of exotic species transported from adjacent platform (*Cibicides bertheloti*, *Asterigerinata mammila*, *Bolivina ordinaria* and *Bolivina elongata*); Sector B - middle region of the estuary with muddy sediment, high organic carbon and consists of species typical of estuaries. Sector C - more confined region of the estuary, with muddy sediment, higher concentration of organic carbon in relation to sector B, which is represented by species of agglutinated foraminifera and *Ammonia parkinsoniana*.

**Keywords:** Foraminifera; mesotidal estuary; estuarine compartments

## 1 Introdução

Os estuários caracterizam-se como a parte final de uma bacia hidrográfica, onde a água do mar, costeira, é diluída pela fluvial. Esta dinâmica dá origem a gradientes horizontais e, com frequência, a gradientes verticais de salinidade. Em geral, o teor salino na zona estuarina é inferior ao do mar. Os estuários caracterizam-se por elevada produtividade, quando comparados aos outros sistemas costeiros (Bordalo, 1999).

Nos ambientes costeiros a ação das marés gera gradientes de salinidade, assim como, de outras propriedades (e.g. pH, temperatura, nutrientes) que podem ser de grandes escalas em curtos períodos de tempo. Sendo assim, poucas espécies são capazes de suportar a grande heterogeneidade destes ambientes. Os organismos que sobrevivem nestes ambientes precisam possuir adaptações tanto morfológicas como fisiológicas para que consigam não só sobreviver como também se reproduzir (Bonetti, 1995).

Os foraminíferos bentônicos que vivem em estuários podem ser bem adaptados à instabilidade ambiental porque são geralmente eurihalinos e euritêrmicos (Debenay *et al.*, 1998). Contudo, nas regiões costeiras abrigadas, o número de espécies é uma função complexa de associações entre fatores bióticos e abióticos (Setty *et al.*, 1979), dentre as quais a salinidade tem sido apontada como a determinante no estabelecimento das comunidades (Murray, 1991). Laut *et al.* (2007, 2010, 2011 e 2012) demonstram que fatores como material em suspensão, quantidade de matéria orgânica e atividade bacteriana são fatores mais importantes do que a salinidade na distribuição das espécies num estuário.

A concentração de oxigênio de fundo também interfere na composição das assembleias, pois em condições de baixo oxigênio predominam as formas calcárias achatadas, com paredes finas, transparentes, sem ornamentação e com grande número de poros. Em regiões bem oxigenadas ocorrem as espécies esféricas, lenticulares e bi-umbilicadas (Boltovskoy, 1965). Para as espécies aglutinantes, a questão da forma da testa parece ser mais importante, pois em ambientes com menor concentração de oxigênio predominam as formas planas (Laut, 2007).

Entre a vasta gama de bioindicadores, os foraminíferos têm sido utilizados na caracterização de ambientes estuarinos principalmente porque a composição das assembleias está diretamente

relacionada aos parâmetros físico-químicos (Van der Zawann *et al.*, 1999). Além disso, ao morrerem os espécimes são incorporados e preservados no sedimento, tornando-se registros de condições ambientais que muitas vezes não correspondentes às atuais (Laut, 2007).

Desta forma, em regiões estuarinas o conhecimento da distribuição da fauna atual e seus condicionantes ambientais podem ser o ponto de partida para o monitoramento e manejo ambiental além de servir de *background* para os estudos de varrições do nível do mar e evolução quaternária das regiões costeiras.

O estuário do rio Arade, localizado no sul da Península Ibérica, até o momento tem sido estudado somente sob da ótica manutenção de sua navegabilidade. Contudo, sob as recentes perspectivas de mudanças climáticas e de variação do nível relativo do mar, somados à importância histórica, ecológica e econômica que o estuário representa para região sul de Portugal, faz-se necessário à aplicação de metodologias interdisciplinares para a preservação e uso sustentável deste geossistema.

Este estudo teve como objetivo a identificação das assembleias de foraminíferos e os agentes condicionantes de sua distribuição para a identificação de compartimentos ecológicos no estuário do rio Arade que possam servir de premissa a estudos de cunho ambiental e paleoambiental.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

O rio Arade está localizado na porção sul de Portugal, na costa Algarvia apresentando um curso de 75 km e uma bacia hidrográfica de 980 km<sup>2</sup> (Fletcher, 2005). Configura-se como o segundo sistema principal de aquíferos da costa do Algarve, sendo superado apenas pelo rio Guadiana localizado a oeste, na fronteira com a Espanha (Bebiano *et al.*, 1997).

A zona estuarina é formada pela junção das águas dos rios Odelouca, Boina e Arade que descem da serra do Caldeirão e desaguam numa enseada no oceano Atlântico. Na sua foz ficam os centros populacionais de Portimão, na margem direita, e Ferragudo, na margem esquerda, onde chega a atingir 1 km de largura (37°37'N – 08°34'W). É navegável até a cidade Silves, sendo também conhecido por rio de Silves e/ou rio de Portimão (Figura 1).

A distribuição da salinidade no interior do estuário é uma consequência da hidrodinâmica e da variação sazonal da vazão. No caso do estuário do Arade, a vazão de água doce é reduzida e, por conseguinte são de esperar valores elevados de salinidade, no interior do estuário. Deste modo, a assinatura de água doce na zona externa do estuário é baixa, não sendo a salinidade um bom elemento para definir o limite de jusante do estuário (MARETEC, 2012).

A cidade de Portimão é a segunda maior do Algarve, com cerca de 20 mil habitantes, e no verão, por causa do complexo turístico da Praia da Rocha, esta população duplica. Toda a bacia hidrográfica possui um grande valor ambiental, com extensas zonas de marismas de interesse paisagístico e ecológico. A montante da área estuarina, o rio Arade possui uma represa que fornece água para fins industriais e junto à foz abriga um dos maiores portos para desembarque de pesca da região (MARETEC, 2012).

Geologicamente está inserido na Bacia Algarvia (ou Bacia do Algarve) que corresponde, na sua parte meridional, a um conjunto de terrenos formados na grande maioria, por rochas sedimentares, como os calcários (dolomíticos, compactos dendríticos, lacustres), margas, argilas, arenitos, entre outras. Esses terrenos estão sobre o embasamento hercínico, constituído por xistos e grauvaques que datam do Carbonífero. A bacia apresenta uma direção principal E-W, estando a sua parte emersa representada desde o Cabo de São Vicente até o rio Guadiana na fronteira entre Portugal e Espanha (Ferreira *et al.*, 2008).

O clima do Algarve, como todo o sul de Portugal no geral, é do tipo mediterrâneo, com verões quentes e secos, e com pelo menos dois meses de seca depois do solstício de verão e com invernos moderados. A média anual de temperatura é de 16,3°C, com o mínimo de 9,9°C em Janeiro e máximo de 23,3°C em Agosto, com a pluviosidade anual variando de 500 a 1000 mm (Loureiro & Coutinho, 1995).

No período mais seco do ano, que são os meses de julho a setembro, os córregos de modo geral secam, mesmo em anos de escoamento médio anual superior à média. No entanto, o rio Arade constitui uma exceção à regra, apresentando vazão permanente (Instituto Português Sul, 2003).

O estuário do rio Arade apresenta regime de mesomaré, havendo intrusão de água salgada até

16 km a montante do estuário, com profundidade média de 6 m e máxima de 10 m próximo à cidade de Portimão (MARETEC, 2012).

## 2.2 Amostragem

Em setembro de 2010 foram coletadas cinco amostras de sedimento na zona de submaré do canal principal do estuário do rio Arade, no período de baixamar, para evitar regiões com exposição aérea (Figura 1).

Os pontos de amostragem foram distribuídos de maneira que se pudesse identificar o gradiente estuarino, assim, as estações se distribuíram da seguinte forma: AS01 - localizado próximo ao porto da cidade de Portimão; AS02 - próximo à ponte da estrada Nacional 125 com margem vegetada por *Spartina maritima*; AS03 - na região intermediária do baixo curso do estuário próximo à confluência com o rio Odeluca; AS04 - na região mais alta do estuário, próximo ao clube de campismo; AS05 - localizado no centro da cidade de Silves (Figura 1).

Para a análise de foraminíferos foram coletados 50 ml dos 2 cm superficiais de sedimento com a utilização de uma espátula metálica. O sedimento foi armazenado em potes plásticos com adição de álcool 70% para evitar a degradação bacteriana nas carapaças. O volume de aproximadamente 300 g de sedimento foi acondicionado em sacos plásticos identificados, sendo estes destinados a análise sedimentológicas e geoquímicas.

Ainda em campo, foram medidos parâmetros físico-químicos como salinidade (refratômetro, modelo 10419, *American Optical*), temperatura, pH (Meter CG837, *Schott Gerate*) e O<sub>2</sub> dissolvido (Meter CG867, *Schott Gerate*).

## 2.3 Análise Sedimentológica

Nas análises granulométricas, os 100g de sedimento coletados em cada estação foram lavados em água destilada, para a eliminação de sais solúveis, e posteriormente secos em estufa, com temperatura de 50°C. Após esta fase foram atacadas com peróxido de hidrogênio a 30% em ambiente natural para eliminação da matéria orgânica.

As frações arenosas (>0,062 mm) foram peneiradas, usando-se peneiras com intervalo de 0,5 phi. As frações lamosas (<0,062 mm)



Figura 1 Mapa de localização das amostras ao longo do rio Arade.

foram analisadas utilizando-se o método de pipetagem (Suguio, 1973).

## 2.4 Análise Geoquímica

As amostras de sedimento foram liofilizadas e após foram homogeneizadas num moinho de ágata Fritsch. Cerca de 20 mg deste sedimento foi colocado em cadinhos de estanho que foram dobrados, de forma a eliminar o ar que estava no interior e armazenadas num exsiccador. Outras 20 mg de amostras foram colocadas em cadinhos de prata e hidratadas com ácido clorídrico a 10% e colocadas numa estufa à temperatura de 120°C por 24 horas. Tanto as amostras contidas em cadinhos de prata quanto de estanho foram colocadas num cilindro com várias câmaras de um analisador elementar por cromatografia gasosa, Carlo Erba, modelo EA1108, onde foi efetuada a determinação do conteúdo orgânico do sedimento [% de carbono total (C total - cadinho de estanho), % de carbono orgânico (C orgânico - cadinho de prata)]. A partir dos valores obtidos, calculou-se a percentagem de CaCO<sub>3</sub> (diferença entre a % de carbono total e % de carbono orgânico).

## 2.5 Análise Micropaleontológica

Um total de 50 ml de sedimento foi passado a úmido pelas peneiras de 0,500 mm e 0,062 mm, descartando-se as granulações acima e abaixo destes intervalos. Os fragmentos orgânicos grossos, bem como os organismos maiores, ficaram retidos na peneira de 0,500 mm enquanto que grande parte dos foraminíferos passou para a peneira de 0,062 mm. Reservou-se a fração sedimentar 0,062-0,500 mm. Entre a lavagem de uma amostra e outra, as peneiras foram mergulhadas em corante Azul de Metileno para a coloração de organismos que, porventura, tivessem ficado retidos na malha da peneira e poderiam vir a contaminar as amostras subsequentes. Todas as amostras foram secas em estufa sob a temperatura de 50°C e os microrganismos separados do material por flotação em tricloroetileno (C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>).

O material sobrenadante resultante da flotação foi quarteado e examinado sob microscópio estereoscópico com aumento de 80X onde espécimes de foraminíferos foram separados, identificados e contados uma média de 300 espécimes por amostra. A identificação taxômica foi realizada com base em Boltovskoy *et al.* (1980); Debenay *et al.* (2002) e Martins & Gomes (2004). As testas em melhor estado de preservação foram metalizadas em ouro

paládio e encaminhadas ao microscópio eletrônico de varredura para fotomicrografia (Figura 2 e 3).

Os valores de densidade da comunidade (número de testas em 50 ml de amostra) foi calculado multiplicando-se o número de carapaças identificadas ( $\pm 300$  carapaças) pelo número de vezes que foi necessário quarterar a amostra. Os valores de abundância relativa da comunidade de cada amostra foram utilizados para os cálculos dos índices ecológicos. A diversidade foi obtida usando-se o índice de *Shannon-Wiener* ( $H'$ ) expresso pela fórmula:  $H' = -\sum p_i \ln p_i$ . A média de equitatividade (ou homogeneidade) foi calculada segundo a fórmula:  $J' = H' / \ln(S)$ . A dominância foi expressa pelo índice de *Simpson*, que é representado pela fórmula:  $t = \sum n_i(n_i - 1) / (N(N - 1))$ , no *software* MVSP 3.1.

## 2.6 Análises Multivariadas

Objetivando compreender as relações de interdependência que possam existir entre as múltiplas variáveis ambientais analisadas e sua influência nas relações ecológicas e na distribuição das espécies de foraminíferos foi empregada uma análise multivariada conhecida como DCA (*Detrended Correspondence Analysis*) utilizando-se o *software* PCord4. Para o cálculo de variância foi utilizada a Distância Euclidiana Relativa que é a recomendada para medir a ordenação em espaços. Para a análise estatística, tanto os dados de abundância relativa das espécies de foraminíferos quanto dos parâmetros físico-químicos como pH, salinidade, carbono orgânico e inorgânico, fração lamosa (silte+argila), areia e cascalho, foram normalizados pela raiz quadrada de 0,5 no *Software* PCord 5.

## 3 Resultados

### 3.1 Abióticos

Os parâmetros físico-químicos no estuário do rio Arade apresentaram pequenas variações, durante de amostragem. A temperatura da água variou entre 21,66°C no ponto AS01 próximo da foz e 22,56°C no ponto AS03. O pH variou de 6,07 no ponto AS03 a 7,77 no ponto AS01. A salinidade variou entre 14,01 em AS05, a montante, e 35,76 em AS02 a jusante da foz (Tabela 1).

A análise granulométrica demonstrou que o sedimento ao longo do estuário teve grandes variações com predominância da fração silte. A

estação mais arenosa foi AS01 (83%) e a mais argilosa AS02 (29,3%). A fração cascalho apresentou valores muito baixos (1-2,5%) nas estações AS01, AS02 e AS05 (Tabela 1).

Os teores de carbono orgânico apresentaram pouca variação no estuário com valor mais alto em AS05 (1,81%) e mais baixo em AS01 (0,62%). Por outro lado, o carbono inorgânico apresentou valores mais elevados, de 92,97% em AS01 a 0,43% em AS05 (Tabela 1).

### 3.2 Bióticos

Foram identificados 39 *taxa* de foraminíferos ao longo do estuário do rio Arade, onde trinta e uma espécies foram de carapaça calcária e oito aglutinantes. A densidade das comunidades variou de 20.256/50 ml de sedimento na estação AS03 a 1.000/50 ml de sedimento na estação AS05. O maior número de espécies identificadas (31 espécies) foi em AS01, estação localizada próximo à foz do estuário (Tabela 2).

A espécie que apresentou a maior abundância relativa ao longo do estuário foi *Ammonia tepida* (12,4 - 35,1%) seguida por *Haynesina germanica* (4 - 51,8 %).

O índice de diversidade ( $H'$ ) foi mais alto na foz, na estação AS01 (2,7) e menor em AS02 (1,2). O índice de equitatividade ( $J'$ ) foi de 0,8 na estação AS01, e menor também em AS02 com valor de 0,490. Nas outras estações o valor de equitatividade se manteve constante (0,8). A dominância seguiu o mesmo padrão dos outros índices, maior na foz (1,0) e descendo (0,6) em direção à região mais externa do estuário onde retorna a subir (0,8).

### 3.3 Análises Multivariadas

A análise multivariada em DCA realizada usando como variáveis ambientais salinidade (Sal), carbono orgânico (CO), carbono inorgânico (CI), e porcentagem de cascalho, areias e finos (silte+argila), apresentou coeficiente de variância de 35% para o eixo I e de 37% para o eixo II (Figura 4).

As variáveis ambientais que apresentaram maiores vetores com menor angulação em relação ao eixo I foram a porcentagem de carbono orgânico e inorgânico seguido pelas frações granulométricas finos e areias. Nesta análise foi possível constatar

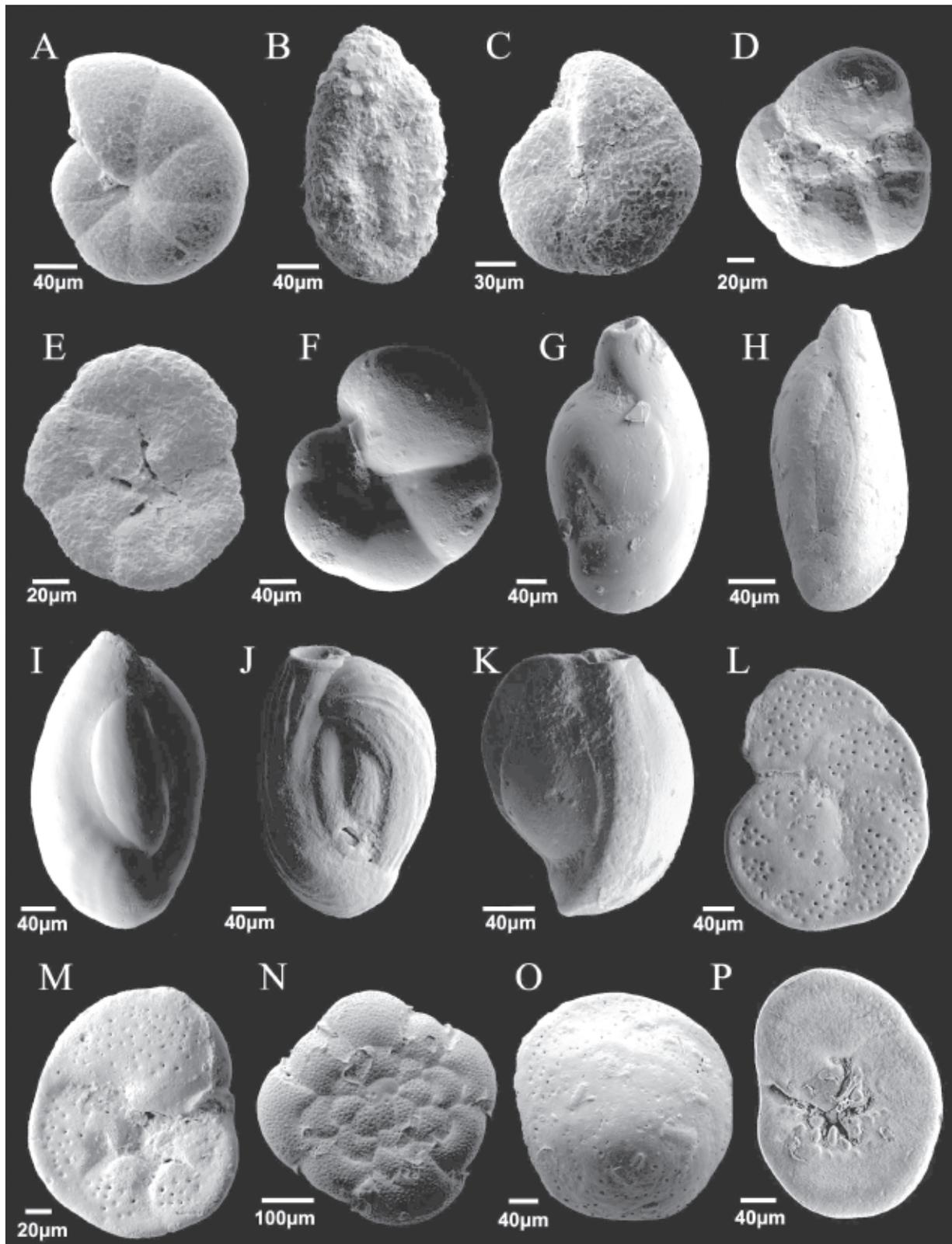


Figura 2 A- *Haplophragmoides wilberti* (AS05); B- *Miliammina fusca* (AS05); C- *Arenoparrella mexicana* (AS05); D- *Siphotrochammina lobata* (AS03); E - *Tiphrotrocha comprimata* (AS05); F - *Trochammina inflata* (AS05); G- *Adelosina* sp. A (AS01); H- *Adelosina* sp. B (AS01); I - *Quinqueloculina seminula* (AS05); J - *Quinqueloculina poeyana* (AS01); K - *Quinqueloculina lamarckiana* (AS01); L - *Lobatula lobatula* (AS01); M - *Rosalina bradyi* (AS01), vista ventral; N - *Planorbulina mediterraneanensis* (AS01), vista dorsal; O - *Asterigerinata mamilla* (AS01), vista dorsal; P - *Asterigerinata mamilla* (AS01), vista ventral.

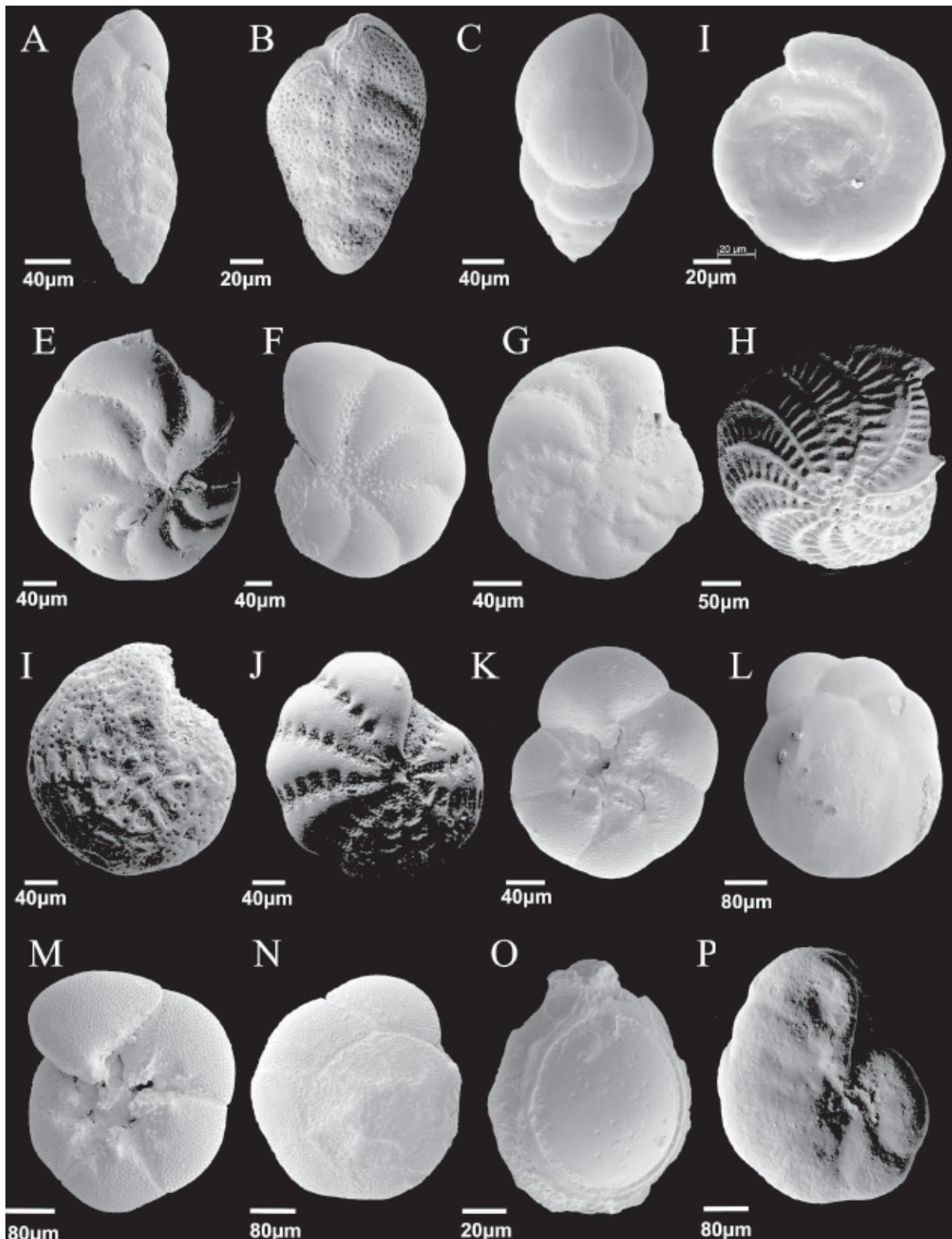


Figura 3 A - *Bolivina ordinaria* (AS01); B - *Bolivina dilatata* (AS01); C - *Bulimina elongata* (AS01); D - *Cornuspira planorbis* (AS01); E- *Astrononion stelligerum* (AS03); F- *Haynesina germanica* (AS02); G - *Elphidium complanatum* (AS01); H - *Elphidium crispum* (AS01); I - *Elphidium gunteri* (AS04); J - *Elphidium excavatum* (AS05); K - *Ammonia tepida* (AS02) vista ventral; L - *Ammonia tepida* (AS02) vista dorsal; M - *Ammonia parkinsoniana* (AS05) vista ventral; M - *Ammonia parkinsoniana* (AS05) vista dorsal; O - *Fissurina orbignyana* (AS01); P - *Entzia polystoma* (AS05) vista ventral.

**Compartimentos Ambientais do Estuário do Rio Arade, Sul de Portugal, com Base na Distribuição e Ecologia de Foraminíferos**  
 Lazaro Luiz Mattos Laut; Isis de Almeida Cabral; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; Federico Sobrinho Silva; Maria Virginia Alves Martins; Tomasz Boski; Ana Isabel Gomes; João Manuel Alverinho Dias; Luiz Francisco Fontana; Vanessa Mattos Laut & João Graciano de Mendonça-Filho

Tabela 1 Tabela dos parâmetros físico-químicos do estuário do rio Arade.

Estações	AS1	AS2	AS3	AS4	AS5
pH	7,77	7,46	6,07	7,19	7,18
Salinidade	35,33	35,76	30,61	21,96	14,01
Temperatura (°C)	21,66	21,95	22,56	22,39	22,51
Carbono orgânico (%)	0,62	1,34	1,76	1,73	1,81
Carbono inorgânico (%)	92,97	0,97	0,47	0,84	0,43
Cascalho (%)	1	1,9	0	0	2,5
Areia (%)	83	15	26,9	42,6	41,1
Silte (%)	13,9	53,8	45,7	45,4	56,3
Argila (%)	2,1	29,3	27,4	12	0

—	AS01	AS02	AS03	AS04	AS05
Número de testas (50 ml)	2264	2640	20256	4352	1000
Número de espécies (50 ml)	31	12	16	18	15
Diversidade (H')	2,7	1,2	1,5	1,7	2,1
Equitatividade (J')	0,8	0,5	0,5	0,6	0,9
Dominância	0,908	0,604	0,664	0,751	0,830
<i>Adelosina</i> sp. B	0,3	-	-	-	-
<i>Adelosina</i> sp. A	0,7	-	-	-	-
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	0,3	0,6	3,3	4,2	5,2
<i>Ammonia tepida</i>	19,7	35,1	34,7	33	12,4
<i>Arenoparrella mexicana</i>	-	-	-	0,5	0,8
<i>Asterigerinata mamilla</i>	5,3	-	-	-	-
<i>Astronion stelligerum</i>	-	0,3	1,7	0,3	-
<i>Bolivina barbata</i>	0,3	-	-	-	-
<i>Bolivina ordinaria</i>	4,2	-	0,3	-	-
<i>Bulimina elongata</i>	2,8	-	-	-	-
<i>Cibicides bertoloti</i>	7,7	-	-	-	-
<i>Cibicides</i> spp.	0,7	-	-	-	-
<i>Cornospira planorbis</i>	0,3	-	-	-	-
<i>Elphidium complanatum</i>	1,7	-	-	-	-
<i>Elphidium crispum</i>	2,8	-	-	-	-
<i>Elphidium discoidale</i>	5,3	0,6	-	0,3	-
<i>Elphidium excavatum</i>	5,6	3	2,2	1,1	9,6
<i>Elphidium gunteri</i>	-	-	1,8	4,9	1,6
<i>Elphidium macelum</i>	0,7	-	-	-	-
<i>Elphidium</i> spp.	-	0,3	0,1	-	-
<i>Elphidium vadensis</i>	-	3	5,5	31,7	10
<i>Fissurina orbignyana</i>	0,7	-	-	-	-
<i>Haplophragmoidis wilberti</i>	-	-	-	-	0,8
<i>Haynesina germanica</i>	12,3	51,8	45,4	17,1	4
<i>Jadammina polystoma</i>	-	0,3	0,3	0,1	0,4
<i>Miliammina fusca</i>	-	-	-	0,7	13,2
<i>Milolinella subrotunda</i>	1	-	0,3	-	1,6
<i>Nonion</i> spp.	0,3	-	-	-	-
<i>Planorbulina mediterranea</i>	0,7	-	-	-	-
<i>Quinqueloculina</i> spp.	-	0,6	1,1	-	-
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	2,8	-	-	-	-
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	7,7	0,9	-	0,1	-
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	9,5	3,3	1,4	4,2	33,2
<i>Quinqueloculina venusta</i>	1,7	-	-	-	-
<i>Rosalina bradyi</i>	2,1	-	-	-	-
<i>Siphotrochammina lobata</i>	-	-	0,6	0,1	-
<i>Tiphotreca comprimata</i>	-	-	-	-	3,2
<i>Trochammina inflata</i>	-	-	0,6	0,7	3,6
<i>Trochammina macrescens</i>	-	-	-	0,1	0,4

Tabela 2 – Índices ecológicos da comunidade de foraminíferos e valores de abundância relativa das espécies do estuário do rio Arade.

que AS01 se isola das outras estações, sendo influenciada positivamente pelos valores de carbono inorgânico, salinidade e pH mais altos e pela concentração de areia. Por outro lado, as estações AS05, AS04 e AS03 respondem opostamente sendo favorecidas pela maior concentração de carbono orgânico e sedimentos finos. A estação AS02 localizou-se muito próxima ao eixo central do gráfico demonstrando menor resposta aos parâmetros analisados (Figura 4).

No eixo II, a variável ambiental que conduziu à distribuição das estações foi a porcentagem de cascalho. As estações AS05 e AS01 responderam positivamente enquanto que AS04, AS03 e AS02 responderam negativamente (Figura 4).

Na mesma análise aplicada às essas espécies de foraminíferos pode-se verificar que os aglutinantes (*Miliammina fusca*, *Entzia polystoma*, *Entzia macrescens*, *Trochammina inflata*, *Arenoparrella mexicana* e *Siphotrochammina lobata*) juntamente com as espécies calcárias *Ammonia parkinsoniana*, *Elphidium waddense* *Astronion stelligerum*

responderam positivamente aos valores de carbono orgânico e ao sedimento fino. Por outro lado, as espécies *Cibicides bertheloti*, *Bolivina elongata*, *Asterigerinata mammila*, *Bolivina ordinaria*, *Quinqueloculina poeyana*, *Elphidium discoideale* e *Miliolinella subrotunda* responderam positivamente ao carbono inorgânico, salinidade, pH e a fração areia (Figura 4).

Em relação ao eixo II, as espécies *M. fusca*, *E. macrescens*, *T. inflata*, *E. polystoma*, *A. mexicana*, *Q. seminula*, *M. subrotunda* e *E. excavatum* foram as quem melhor responderam positivamente a porcentagem de cascalhos. Por outro lado, as espécies *S. lobata*, *E. waddense*, *E. gunterii*, *A. stelligerum* e *E. discoideale* foram as que se apresentaram mais opostas a este parâmetro (Figura 4).

As espécies *Ammonia tepida*, *Haynesina germanica* e *Quinqueloculina* spp. localizaram-se muito próximas à região central do gráfico e por isso demonstraram ser pouco influenciadas pelos parâmetros analisados (Figura 3).

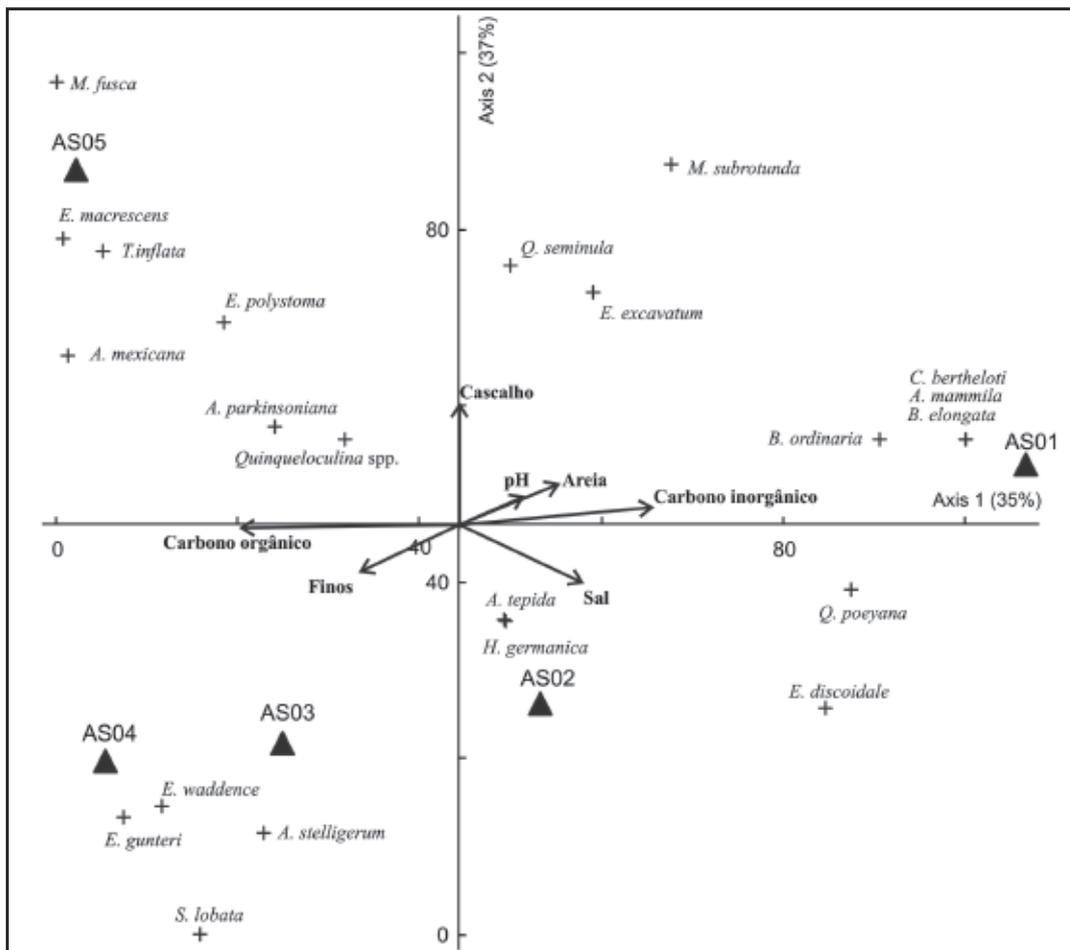


Figura 4 DCA demonstrando a influências dos parâmetros físico-químicos sobre as espécies de foraminíferos setorizando o estuário do rio Arade em três regiões distintas: Setor A – estação AS01; Setor B – estações AS02, AS03 e AS04; e Setor C – Estação AS05.

#### 4 Discussão

A salinidade ao longo do estuário do rio Arade apresentou um gradiente com o maior valor na foz diminuindo gradativamente a jusante. Tais características classificam o ambiente como polihalino (Gonçalves *et al.*, 2010). Contudo, o valor de salinidade para a estação mais a jusante (AS05) foi elevado, demonstrando pouco aporte de água doce para época da coleta. Este padrão é normal para a região, pois a região do rio Arade apresenta clima do tipo semi-árido, com pouca chuva durante o verão. Os rios nesta região têm um regime do tipo torrencial que é controlado pela construção de barragens para fornecimento de água à agricultura e consumo urbano (MARETEC, 2012).

Os valores de salinidade tiveram distribuição inversamente proporcional à temperatura, ou seja, os locais com salinidade maior foram aqueles que apresentaram águas mais frias. Este padrão com maior salinidade e menor temperatura caracteriza as águas da plataforma adjacente que entra no estuário durante a preamar.

Os valores de pH encontrados não variaram muito, e também foram semelhantes aos já encontrados por outros autores no estuário (Almeida *et al.*, 2000). Pequenas oscilações nos valores de pH podem estar relacionadas às características da vegetação de margem como apontado por Laut *et al.* (2011) no estuário do Rio Agurari.

O estuário do rio Arade apresentou-se mais areno-siltoso na foz que indicam maior atuação de correntes com altos valores de carbono inorgânico possivelmente devido à alta produtividade de organismos (*e.g.* bivalvíos e gastrópodes) no local, e da descarga de esgotos domésticos tratados e não tratados oriundos da cidade de Portimão (Instituto Português e dos Transportes Marítimos, 2005).

Na região intermediária do estuário dominou a sedimentação siltosa demonstrando que nesta zona há diminuição na energia, que pode ser evidenciada pela substituição das margens arenosas em AS01 para margens lamosas recobertas pela vegetação de marismas em AS02, AS03 e AS04. Neste bioma predominam caracteristicamente uma cobertura vegetal constituída por gramíneas como *Spartina* spp., que tende a reter o sedimento e a amenizar as condições hidrodinâmicas (Costa, 1998).

Áreas de ressurgência costeira, como é o caso da Margem Portuguesa são caracterizadas pelo aumento de produtividade primária, pois a

ascensão das águas subsuperficiais frias e ricas em nutrientes estimula a atividade biológica muito próxima à costa (Abrantes & Moita, 1999). O fato do estuário apresentar regime de mesomare pode favorecer o transporte desses elementos para dentro do estuário. Isto pode ser constatado pelo aumento dos valores de carbono inorgânico na estação AS01 que demonstra o efeito da maior influência oceânica nesta região permitindo um maior desenvolvimento de organismos com conchas e testas carbonáticas que permanecem preservados pelos altos valores de pH.

Em relação ao Carbono Orgânico Total (COT), pode-se dizer que o Arade apresentou valores muito semelhantes a outras regiões estuarinas (Silva *et al.*, 2011; Almeida & Souza, 2008; Vilela *et al.*, 2003; Eichler *et al.*, 2003). Segundo Silva *et al.* (2013), que estudaram a qualidade da matéria orgânica nos estuário do rio Arade e Guadiana no Algarve, os valores registrados de COT são inferiores a outras regiões no mundo consideradas como eutrofizadas. Segundo os autores, o rio Arade apresenta razão de carbono/enxofre > 3% que indica ser um ambiente oxidante e mesotrófico.

O rio Arade apresentou maior riqueza (39 espécies) do que outros estuários estudados no sul da Península Ibérica como o Guadiana (17 espécies) e o sistema Tinto-Odiel (22 espécies). A maioria das espécies de foraminíferos calcários identificadas no estuário do rio Arade são cosmopolitas e foram identificadas em vários estuários do mundo e da Península Ibérica (Muñoz *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 2005) principalmente *Ammonia tepida*, *Ammonia parkinsoniana*, *Haynesina germanica*, *Elphidium excavatum*, *Elphidium gunteri*, *Elphidium discoideale*, *Elphidium waddense*, *Milioninella subrotunda*, *Quinqueloculina lamarkiana*, *Quinqueloculina poeyana*, *Quinqueloculina seminula*, *Rosalina bradyi*.

As nove espécies de carapaça aglutinantes identificadas no estuário do Arade também são cosmopolitas e foram identificadas em estuários, manguezais e marismas (Phleger, 1970) de todo mundo; contudo somente *Trochammina inflata* e *Entzia polystoma* foram identificadas dentro dos canais de outros rios da Península Ibérica como Guadiana, Piedras e Tinto-Odiel (Muñoz *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 2005).

Os gêneros *Ammonia* e *Elphidium*, encontrados distribuídos ao longo do todo o estuário são considerados por Scott & Medioli (1980) como característicos de ambientes mixohalinos e salobros.

A espécie *E. waddense* teve uma boa representação também nas áreas do estuário superior o que pode estar relacionado ao enriquecimento orgânico como sugerido por Bates & Spencer (1979).

As espécies calcárias hialinas *Ammonia tepida* e *Haynesina germanica* foram identificadas em todas as estações indicando sua característica cosmopolita. Segundo Murray (1991) *A. tepida* é típica de ambientes de águas rasas, podendo ser encontrada no leito do mar, lagoas e zonas deltaicas (Coccioni, 2000). É considerada cosmopolita (Debenay *et al.*, 1998) e eurihalina (Sen Gupta, 1999). Sua proliferação é favorecida pela ausência de competidores em ambientes hipo-hipersalinos (Oliveira, 1999), por ser mais tolerante e adaptada a grandes variações ambientais (Yanko *et al.*, 1999). Por este motivo sobressai, por ser capaz explorar recursos em regiões sob estresse ambiental, onde espécies sensíveis tendem a diminuir a densidade ou desaparecer por não serem aptas (Murray, 1991). *H. germanica* comumente ocupa as regiões com maior influência marinha nos estuários onde os valores de salinidade não são inferiores a 28 (Ruiz *et al.*, 2005). Esta espécie apresenta um caráter cosmopolita e uma grande resistência a contaminação por metais pesados e matéria orgânica na Ria de Aveiro (Martins *et al.*; 2010, 2013).

Sen Gupta (1999) afirma que estuários com características francamente marinhas são normalmente dominados por espécies de *Elphidium*. Phleger (1954) observou alta dominância do gênero *Ammotium* em um estuário do Alabama e, após um aumento na salinidade local as espécies *E. gunteri* e *A. parkinsoniana* ocuparam o nicho das espécies aglutinantes, o que pode ser observado no presente estudo, onde essas espécies estão em maior número nas regiões próximas ao estuário superior, ocupando possivelmente o nicho de gêneros aglutinantes como *Ammotium*.

Segundo Steineck & Casy (1990), a microfauna estuarina possui caráter transicional abrigando tanto espécies de manguezais ou marismas normalmente a montante, como espécies de zonas costeiras adjacentes, próximas à desembocadura ou até o alcance máximo da maré, o que não foi possível observar no estuário do rio Arade.

Na porção mais próxima ao estuário superior ocorreu a presença de foraminíferos aglutinantes, a exemplo das espécies como *Miliammina fusca* e *Haplophragmoide wilberti* indicando uma maior influência fluvial do rio Arade. Também foram encontradas espécies como *Trochammina inflata* e

*Siphotrochammina lobata* que conforme Debenay *et al.* (2000) são comuns viverem associados a raízes de plantas de regiões de maré. Alguns autores, como Debenay *et al.* (2003) identificaram *M. fusca* como indicadora do aporte de água doce entrando no sistema, caracterizando condições oligohalinas na região. Tal fato foi corroborado com a presença de *M. fusca* somente nas amostras mais a montante da foz do rio Arade.

A maior densidade de carapaças de foraminíferos está associada às estações onde dominaram as frações finas como AS02 e AS03. De acordo com Boltovskoy & Wright (1976), a abundância de testas de foraminíferos é inversamente proporcional ao tamanho dos grãos dos sedimentos, ou seja, sedimentos mais finos propiciam a proliferação destes organismos. Hayward *et al.* (1996) aplicando análise multivariada em CCA constatou que as porcentagens de finos (silte + argila) é um fator determinantes para a distribuição da fauna de foraminíferos nos canais de maré da Nova Zelândia. Ferreira (1977) e Araujo (2004) sugerem certa relação entre granulometria e a expressão quantitativa e qualitativa dos foraminíferos, ressaltando a existência de uma fauna empobrecida nas amostras de granulometria mais grossa, uma vez que este tipo de sedimento retém menos matéria orgânica do que o sedimento mais fino. No estuário do rio Arade, na amostra AS01 localizada na foz pode se identificar esta relação, pois ela apresentou menor número de testas e granulometria mais arenosa, mas não se aplica à estação AS05 que foi predominantemente siltosa. Em regiões com maior energia hidrodinâmica, como AS01, as carapaças vazias são removidas do sedimento e transportas para outras áreas.

A amostra AS01 foi a que apresentou maior número de espécies de foraminíferos. Segundo Phleger (1970), o número de espécies de foraminíferos por amostra aumenta quando as condições ambientais são mais tipicamente marinhas, como ocorre nesta estação localizada na foz do estuário. Este padrão é comum em estuários de mesomaré de clima semi-árido, pois segundo Souza *et al.* (2010), neste tipo de estuário há um enriquecimento de espécies da plataforma continental na foz que são trazidos em suspensão, resultando em um aumento nos índices ecológicos na foz dos estuários. Alve & Murray (1999) identificaram uma significativa correlação entre a abundância relativa de espécies e a porcentagem de sedimentos finos.

Mendes *et al.* (2004) também identificaram este mesmo tipo relação na plataforma continental adjacente à foz do rio Guadiana, no Algarve, onde as espécies tipicamente estuarinas conseguem sobreviver associadas ao sedimento arenoso e enriquecido em matéria orgânica. Armynot du Châtelet *et al.* (2009) encontraram também os índices de riqueza e diversidade ligados claramente ao tamanho do grão, no qual a concentração do carbono orgânico foi considerado o fator limitante para a distribuição das espécies. Esta correlação pode ser observada na estação AS01, mais próxima à desembocadura, a qual é mais arenosa e com maiores valores de carbono inorgânico.

Os valores dos índices de equitatividade e diversidade são os que apontam para a estabilidade ambiental, pois refletem a maturidade de uma associação microfaunística, trazendo informações sobre as condições ecológicas de um ambiente favorável, o que é muito difícil em regiões estuarinas (Jaworski, 2010). Portanto, a pouca uniformidade vista na área de estudo do estuário do rio Arade foi decorrente das características apresentadas por regiões costeiras, que conforme o modelo proposto por Buzas & Gibson (1969), determinaram que os valores de alta uniformidade (equitatividade) são característicos de regiões de plataforma continental. O índice de dominância foi maior nas regiões internas e externas do, que na região intermediária do estuário, em função dos altos valores de abundância apresentados por espécies como *A. tepida*, *H. germanica* e *Q. seminula*.

As análises multivariadas em DCA demonstraram que a matéria orgânica (carbono orgânico e inorgânico) seguida pela porcentagem de sedimentos finos foram as variáveis ambientais que mais influenciaram as espécies de foraminíferos no estuário do rio Arade. Para muitos autores (Closs, 1962; 1964; Boltovskoy & Wright, 1976; Barbosa, 1991) estas variáveis são as que mais influenciam a distribuição das espécies de foraminíferos, juntamente com a salinidade. Desta forma, com base nas análises em DCA podemos dividir o estuário do rio Arade em três setores ambientais:

- Setor A (AS01): região com maior influência marinha que apresenta sedimento arenoso, valores altos de carbono orgânico e representado principalmente por espécies de foraminíferos típicos da plataforma continental como *B. ordinaria*, *C. bertheloti*, *A. mamilla* e *B. elongata* (Figura 4).

- Setor B (AS02, AS03, AS04): região intermediária do estuário com menor salinidade

e maior influência do carbono orgânico e de sedimentos finos sobre os foraminíferos. Neste setor as espécies mais representativas foram *E. gunteri*, *A. stelligerum*, *E. wadensis* e *S. lobata* (Figura 4).

- Setor C (AS05): região que representa a área mais confinada do estuário, onde os parâmetros que mais influenciaram a distribuição da fauna de foraminíferos foram a menor salinidade, sedimento lamoso e valores mais altos de carbono orgânico. As espécies mais representativas deste setor foram as aglutinantes como *M. fusca*, *E. macrescens*, *T. inflata*, *A. mexicana*, *E. polystoma* e a espécie calcárias *A. parkinsoniana* (Figura 4).

Nas últimas décadas, aumentaram as evidências que a relação entre o fluxo de matéria orgânica e os foraminíferos é intrínseca (Mackensen *et al.*, 1995) e este fluxo está diretamente relacionada à produção primária (Loubere & Fariduddin, 1999). As fontes naturais de matéria orgânica para os ambientes costeiros são: a produção fitoplanctônica e os detritos continentais, que através dos rios alcançam o corpo receptor, podendo ser novamente transportados. A densidade da vegetação dos marismas do estuário do rio Arade podem ter elevado a concentração de matéria orgânica em certas áreas, fazendo com que aumentasse a relação de foraminíferos e matéria orgânica acumulada.

Foi possível observar que o estuário estudado possui singularidades quanto à distribuição das assembleias e que estas são promovidas pelas características específicas de cada compartimento do estuário. Wang & Murray (1983) propõem que em ambientes de mesomaré o transporte de material da região oceânica para dentro dos estuários é tão grande que ocasiona a ausência de uma zonação longitudinal de assembleias, e que um grande número de espécies exóticas compõe a população total (mortos+vivos). Este cenário não foi identificado no estuário do rio Arade, pois há uma zonação de foraminíferos correlacionada ao gradiente de salinidade, granulometria e de matéria orgânica. Uma grande riqueza de espécies exóticas foi identificada, mas está restrita à foz (Setor A) sendo substituídas no na zona intermediária do estuário (Setor B) por uma associação de *Ammonia* spp., *Elphidium* spp. e *Haynesina germanica*.

Segundo Fairbridge (1981) a região do estuário superior ou fluvial, é caracterizada pela presença de massa hídrica doce, e está sujeito à ação diária das marés, fato que não ocorre no estuário superior do Arade. Devido ao aporte de água doce ser pequeno, a zona de influência da maré estende-se

a mais de 16 km em direção a jusante (Setor C). Esta influência da maré no estuário superior é ressaltada através da presença significativa de espécies de foraminíferos calcários, principalmente miliolídios como *Quinqueloculina seminula*, que em sua maioria são sensíveis a mudanças ambientais, sendo a maioria das espécies estenohalinas (Murray, 1968). Segundo Brönnimann *et al.* (1981), os miliolídios se desenvolvem sob a ação conjunta de salinidade marinha, altas concentrações de carbonato de cálcio, grande disponibilidade de nutrientes, boa oxigenação e reduzida turbidez. Na Europa e na Ásia as regiões de estuário superior são compostas por uma associação de *Miliammina fusca* e outras típicas de ambientes “parálisos” (Debenay *et al.*, 2002). Esta espécie, juntamente com outras aglutinantes típicas de regiões parálisas, está presente no Setor C, mas os valores de salinidade de 14‰ e a riqueza de espécies calcárias indicam que o estuário superior classicamente caracterizado, poderá estar localizado mais a montante no rio Arade.

O estuário do rio Arade apresentou características sobre a fauna de foraminíferos diferente de outros estuários sob o regime de mesomaré inclusive da própria Península Ibérica. Contudo, este sistema apresentou características muito semelhantes com o estuário mesomaré do rio Potengi, localizado na costa nordeste do Brasil (Santos *et al.*, 2010), no qual também puderam ser reconhecidos três compartimentos, onde o principal fator ambiental que conduziu a distribuição dos organismos foi a concentração da matéria orgânica e a atividade bacteriana.

## 5 Conclusão

O estuário do rio Arade apresentou gradiente de variação dos parâmetros físico-químicos em direção à jusante. Contudo, não foi possível identificar o limite para o estuário superior, pois a ação da maré pode ser identificada a 16 km da costa na região da cidade de Silves.

O estuário do rio Arade apresentou uma alta riqueza de espécies de foraminíferos ao longo de todo o seu curso, a qual demonstra ser favorecida pelo enriquecimento orgânico proveniente da alta produtividade de organismos fitoplanctônicos e das descargas de esgotos tratados e não tratados oriundos principalmente da cidade de Portimão.

Quanto à delimitação geográfica foi possível identificar uma zonação das espécies ao longo do

estuário do rio Arade, podendo subdividir a área de estudo em três setores: Setor A – região de maior influência marinha que apresenta alta concentração de carbono inorgânico e sedimento arenoso e representada por espécies exóticas transportadas da plataforma adjacente como *C. bertheloti*, *A. mamilla*, *B. ordinaria* e *B. elongata*. Setor B – região intermédia do estuário com sedimento lamoso e carbono orgânico mais elevado e composto por espécies típicas de regiões de estuárias. Setor C – região mais confinada do estuário, com sedimento lamoso, maior concentração de carbono orgânico e representado por espécies de foraminíferos aglutinantes e *A. parkinsoniana*.

O estudo dos foraminíferos bentônicos no estuário do rio Arade associados a parâmetros físico-químicos e sedimentológicos demonstrou ser uma boa ferramenta na identificação e caracterização de setores ambientais. Tais resultados poderão ser utilizados em futuros estudos de monitoramento e gestão ambiental do estuário, assim como auxiliar nos estudos de reconstrução de paleoambientes da região.

## 6 Agradecimentos

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ pelo apoio financeiro através do projeto nº E-26/110.473/2010. E ao programa de bolsa de Iniciação Científica da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO pela concessão do auxílio à aluna Isis de Almeida Cabral.

## 7 Referências

- Almeida, C.; Mendonça, J.L.; Jesus, M.R. & Gomes, A.J. 2000. *Sistemas aquíferos de Portugal continental, Relatório*. INAGG, Instituto de Águas, Lisboa. Documento Eletrônico, CD-ROM.
- Almeida, M.G. & Souza C.M.M. 2008. Distribuição espacial de mercúrio total e elementar e suas interações com carbono orgânico, área superficial da bacia inferior do Rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 22(3): 140-158.
- Alve, E. & Murray, J.W. 1999. Marginal marine environments of the Skagerrak and Kattegat: a baseline study of living (stained) benthic foraminiferal ecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 146: 171-193.
- Araújo, T.M.F. 2004. *Estudo da Microfauna de foraminíferos do sedimento da superfície e subsuperfície da plataforma e do talude continentais da Região Norte do estado da Bahia*. Programa de Pós-graduação em Geologia Costeira e Sedimentar, Universidade Federal da Bahia, 527p

## Compartimentos Ambientais do Estuário do Rio Arade, Sul de Portugal, com Base na Distribuição e Ecologia de Foraminíferos

Lazaro Luiz Mattos Laut; Isis de Almeida Cabral; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; Federico Sobrinho Silva; Maria Virginia Alves Martins; Tomasz Boski; Ana Isabel Gomes; João Manuel Alverinho Dias; Luiz Francisco Fontana; Vanessa Mattos Laut & João Graciano de Mendonça-Filho

- Armynot du Châtelet, É.; Bout-Roumazailles, V.; Riboulleau, A. & Trentesaux, A. 2009. Sediment (grain size and clay mineralogy) and organic matter quality control on living benthic foraminifera. *Contrôle du sédiment (granulométrie et minéralogie des argiles) et de la qualité de la matière organique sur les foraminifères benthiques vivants. Revue de Micropaleontologie*, 52: 75–84.
- Barbosa, C.F. 1991. *Caracterização biossedimentar quantitativa do sistema estuário-manguezal da baía de Guaratuba, Paraná, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 120 p.
- Bates J.M. & Spencer R.S. 1979. Modification of foraminiferal trends by the Chesapeake-Elizabeth Sewage Outfall, Virginia Beach, Virginia. *Journal of Foraminiferal Research*, 9(2): 125-140.
- Bebiano, M.J. & Machado, L.M. 1997. Concentrations of metals and metalloids in *mytilus galloprovincialis* along the south coast of Portugal. *Marine Pollution Bulletin*, 34(8): 666-671.
- Boltovskoy, E. & Wright, R. 1976. *Recent Foraminifera*. Junk Publishers, 571 p.
- Boltovskoy, E. 1965. *Los foraminíferos recientes: biología, métodos de estudio y aplicación oceanográfica*. Editora Universitaria de Buenos Aires, 509p.
- Boltovskoy, E.; Giussani, G.; Watanabe, S. & Wright, R. 1980. *Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic*. Dr. W. Junk bv Publishers The Hague- Boston-London, 131 p.
- Bonetti, C. 1995. *Associação de foraminíferos e tecamebas indicadoras de sub-ambientes recentes na zona estuarina do rio Itapitaguai- Cananéia/SP*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 150p.
- Bordalo, A.A. 1999. Os estuários das bacias internacionais. In: AGUDO, P.A. & GIL, F.J. M. (eds.). *El agua a debate desde la universidad hacia una nueva cultura del agua*. Institucion Fernando El Catolico, p. 843-845.
- Brönnimann, P.; Moura, J.A. & Dias-Brito, D. 1981. Foraminíferos da Fácies Mangue da Planície de Maré de Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 2, Porto Alegre, RS, p. 91-861.
- Buzas, M.A. & Gibson, T.G. 1969. Species diversity: benthic foraminifera in Western North Atlantic. *Science*, 163:72-75.
- Closs, D. 1962. Foraminíferos e Tecamebas da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul. *Boletim da Escola de Geologia de Porto Alegre*, 11: 1-130
- Closs, D. 1964. Ecological Distribution of Foraminifera and Thecamoebina in the Patos Lagoon, Southern Brazil. *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 13: 297-302.
- Coccioni, R. 2000. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution: a case study from the Goro Lagoon (Italy). In: MARTIN, R.E. (ed.). *Environmental micropaleontology. The application of microfossils to environmental geology*, Klywer Academic/Plenum Publishers. p. 71-104.
- Costa, C.S.B. 1998. Marismas irregularmente alagadas. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J.P. (eds.). *Ecossistemas costeiros do extremo sul do Brasil*, Ecoscientia, p. 82-87.
- Debenay, J. P.; Guiral, D. & Parra, M. 2002. Ecological factors acting on the microfauna in mangrove swamps. The case of foraminiferal assemblages in French Guiana. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 55(4):509-533.
- Debenay, J.P.; Guillou, J.J.; Redois, F. & Geslin, E. 2000. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments: a base for using foraminifera as early warning indicators of anthropic stress. In: MARTIN, R. (ed.). *Environmental Micropaleontology*. Plenum Publishing Corporation, p. 39–67.
- Debenay, J.P.; Eichler, B.B.; Duleba, W.; Bonetti, C. & Eichler-Coelho, P. 1998. Water stratification of water in coastal lagoons; its influence on foraminiferal assemblages in two Brazilian lagoons. *Marine Micropaleontology*, 35: 67-89.
- Debenay, J.P.; Guillou, J.J.; Redois, F. & Geslin, E. 2000. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments. A base for using foraminifera as bioindicators. In: MARTIN, R.E. (ed.). *Environmental Micropaleontology. Topics in Geobiology*, v. 15, Kluwer Academic Publishing/Plenum, p. 39-64.
- Debenay, J.P.; Carbonel, P.; Morzadec-Kerfourn, M.T.; Cazaubon, A.; Denèfle, M. & Lèzine, A.M. 2003. Multi-bioindicator study of a small estuary in Vendée (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58: 843–860.
- Eichler, P.P.B.; Eichler, B.B.; Miranda, L.B.; Pereira, E.R.M.; Kfour, P.B.P.; Pimenta, F.M.; Bérnago, A.L. & Vilela, C.G. 2003. Benthic foraminifera response to variations in temperature, salinity, dissolved oxygen and organic matter, in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26: 36-51.
- Fairbridge, R.W. 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E. & CATO, I. (eds.). *Chemistry and biochemistry of estuaries*. Wiley, p. 1-37.
- Ferreira, J.; Cachão, M. & González, R. 2008. Reworked calcareous nannofossils as ocean dynamics tracers: The Guadiana shelf case study (SW Iberia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70: 59-70.
- Fletcher, W.J. 2005. *Holocene landscape history of southern Portugal*. University of Cambridge, Tese de Doutorado, 371 p.
- Gonçalves, J.M.S.; Monteiro, P.; Afonso, C.M.L.; Oliveira, F.; Rangel, M.; Mahado, M.; Veiga, P.; Leite, L.; Sousa, I.; Bentes, L.; Fonseca, L. & Erzini, K. 2010. *Cartography and characterization of the marine communities off the national underwater ecological reserve between Arade River and Ponta da Piedade*. Final Report, ARH, Algarve, Faro 122 p.
- Hayward, B.W.; Grenfell, H.; Cairns, G. & Smith, A. 1996. Environmental controls on benthic foraminiferal and thecamoebian association in a New Zealand tidal inlet. *Journal of Foraminiferal Research*, 26(2): 150-171.
- Instituto Portuário do Sul 2003. *Estudo de Navegabilidade do Rio Arade entre Portimão e Silves* - Estudo de Impacte Ambiental. Fase 4/Relatório Final, 256 p.
- Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos 2005. *Estudo da navegabilidade do Rio Arade entre Portimão e Silves*. Estudo de Impacte Ambiental. Fase 4/Relatório, 29 p.
- Jaworski, K.S. 2010. *Caracterização espaço-temporal do sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) a partir das associações de foraminíferos e tecamebas e suas relações com as variáveis ambientais*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 217 p.
- Laut, L.L.M. 2007. *Foraminíferos e Tecamebas como Indicadores Ambientais em Estuários Tropicais – Brasil*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal

## Compartimentos Ambientais do Estuário do Rio Arade, Sul de Portugal, com Base na Distribuição e Ecologia de Foraminíferos

- Lazaro Luiz Mattos Laut; Isis de Almeida Cabral; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; Frederico Sobrinho Silva; Maria Virgínia Alves Martins; Tomasz Boski; Ana Isabel Gomes; João Manuel Alverinho Dias; Luiz Francisco Fontana; Vanessa Mattos Laut & João Graciano de Mendonça-Filho
- Fluminense, 340 p.
- Laut, L.L.M.; Ferreira, D.E.S.; Santos, V.F.; Figueiredo Jr., A.G.; Carvalho, M.A. & Machado, O.F. 2010. Foraminifera, Thecamoebians and Palynomorphs as Hydrodynamic Indicators in Araguari Estuary, Amazonian Coast, Amapá State – Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 33(2): 52-65.
- Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Bonetti, C.; Figueiredo JR, A.G. & Crapez, M.A.C. 2007. Relationship between foraminifera and bacteria in estuarine sediments from Santa Catarina Island, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 29(1): 429-430.
- Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Figueiredo Jr., A.G. & Laut, V.M. 2011. Assembleias de foraminíferos e tecamebas associadas a análise sedimentológica e microbiológica no delta do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, Brasil. *Pesquisa em Geociências*, 38(3): 251-267.
- Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Martins, V.; Rodrigues, M.A.C.; Mendonça, J.O.; Clemente, I.M.M.M.; Laut, V.M. & Mentzigen, L.G. 2012. Foraminíferos do Complexo Sepetiba/Guaratiba. In: RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, S.D. & SANTOS, S.B. (eds.). *Baía de Sepetiba, estado da arte*. Editora Corbã, p.115-148.
- Loubere, P. & Fariduddin, M. 1999. Quantitative estimation of global patterns of surface ocean biological productivity and its seasonal variation on timescales from centuries to millennia. *Global Biogeochemical Cycles*, 13: 115-133.
- Loureiro, N.S. & Coutinho, M.A. 1995. Rainfall Changes and Rainfall Erosivity Increase in the Algarve (Portugal). *Catena*, 24: 55-67.
- Mackensen, A.; Schmiedl, G.; Harloff, J. & Giese, M. 1995. Deep-sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: ecology and assemblage generation. *Micropaleontology*, 41(4): 342-358.
- MARETEC, 2014. [http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/frame\\_page.htm](http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/frame_page.htm)
- Martins, V. & Gomes, V. 2004. *Foraminíferos da margem continental NW Ibérica: sistemática e ecologia*. Portugal, Ed. Gomes, 377 p.
- Mendes, I., Gonzalez, R., Dias, J.M.A., Lobo, F. & Martins, V., 2004. Factors influencing recent benthic foraminifera distribution on the Guadiana shelf (Southwestern Iberia). *Marine Micropaleontology*, 51: 171-192.
- Muñoz, F.R.; Gonzalez-Regalado Montero, M.L. & Morales González, J.A. 1996. Distribución y Ecología de los Foraminíferos y Ostracodos Actuales del Estuario Mesomareal del Rio Guadiana (So España). *GEOBIOS*, 5: 513-528.
- Murray, J.W. 1991. *Ecology e paleoecology of Benthic Foraminifera*. London, Logman Scientific & Technical, 397 p.
- Oliveira, D. 1999. *Análise Ambiental dos Canais da Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém (SP, Brasil) com Base em Tecamebas e Foraminíferos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, 251 p.
- Phleger, F.B. 1954. Ecology of foraminifera and associated microorganisms from Mississippi Sound and environs. *Bulletins of the American Association of Petroleum Geologists*, 38: 584-647.
- Phleger, F.B. 1970. Foraminifera Population and Marine Marshes Processes. *Limnology and Oceanography*, 15: 34-522.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L., Pendón, J.G.; Abad, M.; Ollás, M. & Muñoz, J.M. 2005. Correlation between foraminifera and sedimentary environments in recent estuaries of Southwestern Spain: Applications to Holocene reconstructions. *Quaternary International*, 140-141: 21-36.
- Sen Gupta, B.K. 1999. Systematics of modern foraminifera. In: SEN GUPTA, B.K. (ed.). *Modern Foraminifera*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 7- 37.
- Setty, M.G.A.P.; Nigam, R. & Ambre, N.V. 1979. Graphic patterns of foraminiferal dominance in nearshore region of central West Coast of India. *Mahasagar-Bulletin of the National Institute of Oceanography*, 12(3): 195-199.
- Silva, F.S.; Laut, L.L.M.; Carvalhal-Gomes, S.B.V.; Fontana, L.F.; Martins, V.; Gomes, A.I.; Clemente, I.M.M.M.; Laut, V.M.; Souza, R.C.C.L.; Crapez, M.A.C.; Rodrigues, M.A.C. & Mendonça-Filho, J.G. 2013. Caracterização geoquímica de sedimentos estuarinos do sul da Península Ibérica como ferramenta para o diagnóstico ambiental. In: RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, S.D. & BERGAMASCHI, S. (eds.). *Interações Homem-Meio nas zonas costeiras: Brasil/Portugal*. Rio de Janeiro, Corbã Editora Artes Gráficas Ltda, p. 85-99.
- Silva, F.S.; Laut, L.L.M.; Sabadini-Santos, E.; Laut, V.M.; Crapez, M.A.C. & Mendonça-Filho, J.G. 2011. Biopolímeros, carbono e enxofre totais associados à atividade bacteriana dos sedimentos superficiais do Delta do Paraíba do Sul, RJ – Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 34(1): 321-326.
- Souza, V.M.; Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Figueiredo Jr., A.G.; Vital, H. & Frazão, E. 2010. Benthic Foraminifera and Bacterial Activity as a Proxy for Environmental Characterization in Potengi Estuary, Rio Grande do Norte, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 33(1): 20-34.
- Steineck, P.L. & Casey, R.E. 1990. Ecology and Paleobiology of Foraminifera and Radiolaria. In: CAPRIULO, G.M. (ed.). *Ecology of Marine Protozoa*. Oxford: Oxford University Press, p. 89-138.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. Edgard Blucher, São Paulo, 317 p.
- United States Environmental Protection Agency – US EPA 2002. Methods for the determination or total organic carbon (TOC) in soils and sediments. In: NCEA-C-1282, *Ecological Risk Assessment Support Center, Las Vegas: Office of Research and Development*, 23 p.
- Van der Zwaan, G. J.; Duijnste, I.A.P.; Dulk, M.den, Ernst, S.R.; Jannink, N.T. & Kouwenhoven, T.J. 1999. Benthic foraminifera: proxies or problems? A review of paleoecological concepts. *Earth-Science Reviews*, 40: 213-236.
- Vilela, C.G.; Sanjines, A.E.S.; Ghiselli-Jr., R.O.; Mendonça-Filho, J.G.; Baptista-Neto, J.A. & Barbosa, C.F. 2003. Search for bioindicators of pollution in Guanabara Bay: integration of ecologic patterns. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26: 25-35.
- Yanko, V.; Kronfeld, J. & Flexer, A. 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24(1): 1-17.