



**Associações de Foraminíferos em Resposta a  
Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal**

Foraminifera Association in Response to Environmental Changes in Aveiro Lagoon - Portugal

Maria Virgínia A. Martins<sup>1,2</sup>; Lazaro L.M. Laut<sup>3</sup>; Frederico S. Silva<sup>4</sup>; Paulo Miranda<sup>2</sup>;  
João Graciano de Mendonça-Filho<sup>4</sup>; Sandra Fernández-Fernández<sup>5</sup>; Sílvia S. Sousa<sup>6</sup>;  
Maria Antonieta da Conceição Rodrigues<sup>1</sup>; André R. Rodrigues<sup>6</sup>; Cintia Yamashita<sup>6</sup>;  
Edilson O. Faria<sup>6</sup>; Raquel R. de Oliveira<sup>6</sup> & Renata H. Nagai<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia.  
Av. São Francisco Xavier, 524, sala 4037F, Maracanã. 20550-013 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>2</sup> Universidade de Aveiro, GeoBioTec, CESAM, Departamento de Geociências, Campus de Santiago. 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Laboratório de Micropaleontologia – LabMicro,  
Av. Pasteur, 458, IBIO/CCET sala 500. Urca 22.240-490, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânicas – LAFO,  
Av. Athos da Silveira, 274 (prédio do CCMN), bloco G, Campus Ilha do Fundão, 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>5</sup> Universidade de Vigo, Geología Marina y Ambiental (GEOMA),  
Departamento de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio. 36310, Vigo, Espanha

<sup>6</sup> Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico,  
Praça Oceanográfico 191. 05508-120, Cidade Universitária, São Paulo - SP, Brasil

E-mails: virginia.martins@ua.pt; lazarolaut@hotmail.com; pfmiranda@gmail.com; fsobrinho@gmail.com;  
graciano@geologia.ufrj.br; sandrafernandez@uvigo.es; andrerr@usp.br; cintia.yamashita@usp.br; edi@usp.br;  
renatanagai@gmail.com; raquelrenoliveira@gmail.com; smsousa@usp.br

Recebido em: 19/01/2015 Aprovado em: 11/12/2015

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2015\\_2\\_56\\_69](http://dx.doi.org/10.11137/2015_2_56_69)

## Resumo

Este estudo baseia-se na caracterização do ambiente sedimentar de locais selecionados em canais e salinas da cidade de Aveiro, na zona central leste e na zona norte da Ria de Aveiro. Nessa caracterização foram utilizados os resultados de parâmetros físico-químicos medidos na água e nos sedimentos, assim como dados granulométricos, geoquímicos e microfaunais (foraminíferos bentônicos). Os fatores condicionantes da variabilidade espacial e sazonal das associações viva e morta de foraminíferos foram avaliados em dois períodos de amostragem: no final do verão e no final do inverno, tendo em vista a análise da resposta destes organismos ao impacto causado pela poluição e variação sazonal dos parâmetros físico-químicos. Os resultados bióticos e abióticos foram analisados para discriminar locais com diferente grau de estresse ambiental. As condições de salinidade, temperatura, pH e Eh nos locais estudados variam espacial e sazonalmente. O sedimento nesses locais é em geral mal oxigenado, subóxico ou mesmo anóxico em alguns milímetros abaixo da superfície. Alguns dos locais encontram-se afetados por contaminantes químicos derivados de efluentes industriais e urbanos. As zonas mais poluídas por metais pesados como o As, Cr, Cu e Zn incluem o Porto de Salreu, Largo do Laranjo e alguns locais da Cidade de Aveiro. As associações de foraminíferos, nos locais estudados, integram espécies euritêrmicas e eurihalinas comuns em ambientes lagunares e estuarinos, sendo majoritariamente tolerantes à redução de oxigênio. A dimensão das comunidades vivas de foraminíferos foi reduzida e a sua estrutura afetada pelo aumento das concentrações de metais pesados como As, Cr, Cu e Zn, assim como, pela variabilidade dos parâmetros ambientais, nomeadamente o Eh, relacionado com as condições de oxigenação do sedimento. Os dados indicam que as condições adversas podem ser causa de morte destes organismos. Sugerem também uma maior tolerância destes organismos ao enriquecimento por Pb, desde que o meio lhes proporcione abundância de alimento.

**Palavras-chave:** variabilidade espacial e temporal; ecologia; foraminíferos bentônicos; poluição; metais pesados; enriquecimento orgânico

## Abstract

This study is based on the characterization of the sedimentary environment in selected sites, located in Aveiro canals and salt-pans, in the eastern-central and northern part of Aveiro Lagoon. Results of physicochemical parameters measured in water and sediment, as well as grain size, geochemical and microfaunal (benthic foraminifera) data are analyzed. The determinants factors of spatial and seasonal variability of living and dead foraminiferal assemblages were analyzed in two sampling periods, late summer and late winter, in order to study the response of these organisms to the impact caused by pollution and sazonal variation of physicochemical parameters. Biotic and abiotic results are analyzed to discriminate sites with different degree of environmental stress. The conditions of salinity, temperature, pH and Eh in the studied sites vary spatially and seasonally. The sediment in these locations is generally poorly oxygenated, suboxic or even anoxic a few millimeters below the surface. Some of the sites are affected by chemicals derived from industrial effluents and urban contaminants. The most polluted areas by heavy metals such as As, Cr, Cu and Zn are Porto de Salreu, Largo do Laranjo and some locals in the city of Aveiro. Foraminiferal assemblages in the studied sites integrate common lagoonal and estuarine euryhaline and eurythermic species, most of which tolerant to the oxygen reduction. The size of the living foraminiferal communities is reduced and their structure affected by increasing concentrations of heavy metals such as As, Cr, Cu and Zn, as well as by the high variability of environmental parameters such as low Eh, related to depressed levels of oxygen in the sediment, leading to the death of many species. The results also indicate a greater tolerance of some opportunistic species to the Pb enrichment, since the environment offer them abundance and quality of food.

**Keywords:** spatial and temporal variability; ecology; benthic foraminifera; pollution; heavy metals; organic enrichment

## 1 Introdução

Este estudo tem como foco a Ria de Aveiro, uma laguna costeira relativamente jovem (Dias *et al.*, 1994) localizada entre a cidade de Espinho e o Cabo Mondego (40°38'N, 8°45'W), que é a laguna mais extensa de Portugal (Teixeira, 1994). As lagunas costeiras são sistemas geralmente orientados paralelamente à linha de costa, separados do oceano por uma barreira arenosa e conectados ao mesmo por um ou mais canais (Kjerfve, 1994; Haines *et al.*, 2006). Estes sistemas são altamente produtivos, com grande potencial para o desenvolvimento de diversas atividades e, por isso são ambientes costeiros extremamente suscetíveis à intervenção e ocupação humana e seus impactos (Kjerfve, 1994; Boyd *et al.*, 1992).

De acordo com Murray (1973), o sedimento de fundo de lagunas mixoalinas é habitado por diversos tipos de organismos dentre eles os foraminíferos. Os foraminíferos são organismos eucariontes e unicelulares e são frequentemente diferenciados pela morfologia e composição de suas carapaças (Loeblich & Tappan, 1988). Estes organismos apresentam um ciclo de vida que pode durar de poucas semanas a alguns anos (Murray, 1991), dependendo do estresse ambiental da área onde vivem. Os foraminíferos são bons bioindicadores ambientais, pois respondem rapidamente às mudanças do meio onde vivem (Yanko *et al.*, 1994, Martin, 2000; Murray, 2001).

A distribuição de foraminíferos dentro de um ecossistema costeiro, como uma laguna salobra, é fortemente influenciada pela amplitude das marés e pela consequente variação de salinidade diária e sazonal, bem como pela natureza do substrato (Yassini & Jones, 1989). A densidade de foraminíferos diminui, em geral, em sedimentos arenosos, encontrados em áreas afetadas por correntes fortes, e em zonas com baixa salinidade (Martins *et al.*, 2011; 2013). A composição das associações também muda em função de características ambientais vigentes (Martins *et al.*, 2011; 2013).

A distribuição dos foraminíferos na Ria de Aveiro foi alvo de vários estudos realizados recentemente (Martins *et al.*, 2010, 2011, 2013). Esses estudos revelaram que na maior parte dos canais deste ecossistema, as associações de foraminíferos são dominadas pelas espécies hialinas *Ammonia tepida* e *H. germanica* (Martins *et al.*, 2011; 2013).

As espécies porcelânicas representadas, sobretudo por *Quinqueloculina seminula*, estão espalhadas por muitas áreas dentro da laguna submetidas à forte influência das marés (Martins *et al.*, 2011). Nas áreas mais internas, localizadas próximas do aporte de água doce, onde a salinidade varia consideravelmente ao longo do ano, estão presentes espécies aglutinantes, como por exemplo, *Trochammina inflata* e *Miliamina fusca* (Martins *et al.*, 2011; 2013).

Os estudos anteriores realizados na Ria de Aveiro contemplaram a análise especial das associações de foraminíferos (Martins *et al.*, 2010, 2011, 2013), mas não analisaram mudanças temporais das suas associações. Existindo ainda um conhecimento reduzido da influência de mudanças ambientais sazonais nestes organismos. O objetivo deste estudo foi confrontar dados recolhidos em dois períodos de amostragem (final do verão e final do inverno) em alguns locais selecionados na Ria de Aveiro. Pretende-se avaliar o efeito da variação de parâmetros ambientais e do impacto da poluição (metais pesados e teores de matéria orgânica), nas associações de foraminíferos bentônicos.

### 1.1 Área de Estudo

A Ria de Aveiro apresenta uma geometria irregular e complexa, conectada ao oceano através de um canal artificial construído em 1808 (Dias, 2001). A laguna apresenta largura máxima de 8,5 km e comprimento de 45 km, sendo constituída por quatro canais principais: Mira (14 km de comprimento), São Jacinto (29 km de comprimento), Ílhavo (15 km de comprimento) e Espinho (17 km de comprimento). O sistema é constituído por vários canais menores, com uma significativa área de entre-marés, lamosa, com marismas e salinas desativadas (Picado *et al.*, 2010) (Figura 1).

A profundidade média da laguna é de aproximadamente 3 m, mas no canal principal a profundidade pode chegar a 28 m para permitir a navegação de navios de grande porte (Picado *et al.*, 2011).

A principal força de circulação da Ria de Aveiro é a maré que apresenta na embocadura uma amplitude média de 2 m, característica de um regime de mesomaré (Dias, 2001; Araújo *et al.*, 2008).

### Associações de Foraminíferos em Resposta a Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal

Maria Virginia A. Martins; Lazaro L.M. Laut; Frederico S. Silva; Paulo Miranda; João Graciano de Mendonça-Filho; Sandra Fernández-Fernández; Sílvia S. Sousa; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; André R. Rodrigues; Cintia Yamashita; Edilson O. Faria; Raquel R. de Oliveira & Renata H. Nagai

Além da maré, condições extremas de vento forte podem induzir alterações consideráveis no padrão de circulação (Dias, 2001).

A circulação influencia as características dos sedimentos que compõem o fundo da laguna. De uma maneira geral, sedimentos mais finos (<63

µm) ricos em matéria orgânica são encontrados nas planícies de maré e zonas intermareais com condições hidrodinâmicas mais fracas, e os sedimentos mais grosseiros (areias e cascalhos) nas áreas onde a velocidade das correntes é maior (Martins *et al.*, 2011).

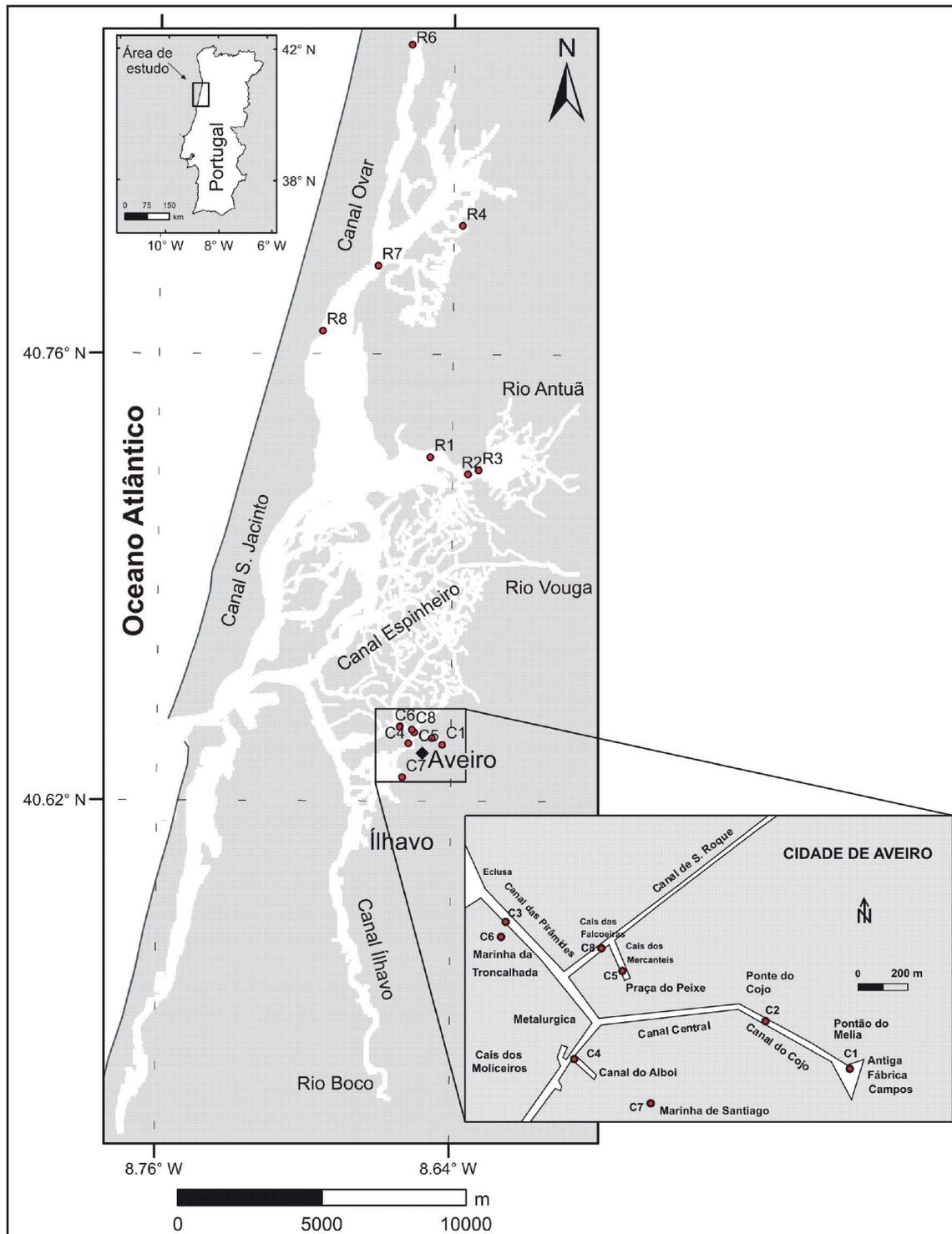


Figura 1  
Área de amostragem e locais estudados.

Do ponto de vista ecológico, a Ria de Aveiro é caracterizada por uma rica biodiversidade, sendo classificada como Área de Proteção Especial por ser rota de aves migratórias e por abrigar a Reserva Natural das Dunas de São Jacinto (Vaz, 2012). Porém existe uma crescente pressão das atividades antrópicas nas suas margens, onde se localizam diversos centros populacionais, extensos campos agrícolas e diversas indústrias (químicas, metalúrgicas, cerâmicas, curtume e celulose) (Pereira *et al.*, 2009). A influência antrópica na laguna tem causado alterações na sua morfologia, com consequências na circulação, e originando uma entrada constante de grande volume de nutrientes antropogênicos, bem como, a descarga de contaminantes com consequências negativas na qualidade da água (Lopes *et al.*, 2005) e do sedimento (Pastorinho *et al.*, 2012). Porém a laguna não se encontra poluída como um todo. Existem locais poluídos, “hot spots” de poluentes, com elevadas concentrações de As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn, surtindo efeitos adversos sobre as associações de foraminíferos (Martins *et al.*, 2010; 2013).

## 2 Materiais e Métodos

Neste trabalho comparam-se dados (granulométricos, geoquímicos e microfaunais) obtidos em amostras de sedimento superficial (o primeiro centímetro), recolhidas nas zonas internas de baixa profundidade (entre 1 e 4 m) da Ria de Aveiro. A amostragem contemplou três zonas principais: cidade de Aveiro, central-leste e norte e foi realizada em 16 locais (Figura 1) em duas campanhas: setembro-outubro de 2009 (final de verão) e em março de 2010 (final do inverno). Durante as campanhas de campo foram medidos com uma sonda multiparamétrica a temperatura e a salinidade, na água, e o pH e Eh nos sedimentos.

Na primeira campanha foram recolhidas duas subamostras para granulometria, geoquímica e foraminíferos. Na segunda campanha, apenas foram medidos parâmetros ambientais e recolhidas amostras para análise das associações de foraminíferos, uma vez que os dados granulométricos tendem a permanecer semelhantes, em períodos temporais curtos.

Em ambas as campanhas, as amostras recolhidas para estudos de foraminíferos foram preservadas em etanol com corante Rosa de Bengala para corar o citoplasma dos foraminíferos vivos e,

dessa forma, diferencia-los dos organismos mortos (Murray, 1991).

Para a análise granulométrica foi usada uma porção homogeneizada de cerca de 150-250 g, de cada subamostra de sedimento seco. A fração fina foi separada da fração areia com uma peneira de 63  $\mu\text{m}$  em via húmida. A fração seca  $>63 \mu\text{m}$  foi passada através de uma série de peneiras de 125  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$  e a média granulométrica foi avaliada com base no método de Folk & Ward (1957).

O teor total de carbono orgânico (COT) e enxofre total (S) foi determinado em 2 g de sedimento no aparelho SC144 da LECO, através dos métodos ASTM D 4239 (*American Society for Testing and Materials* - ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (*United States Environmental Protection Agency* - US EPA, 2002).

A análise geoquímica foi efetuada na fração sedimentar fina ( $<63 \mu\text{m}$ ) por ICP-MS após a digestão total dos sedimentos com quatro ácidos ( $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ -HF-HCl), em ACME *Analytical Laboratories*, Canadá. Neste trabalho, são analisados os resultados relativos às concentrações de Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, P, Pb e Zn. O índice de carga poluente (*Load Pollution Index*, LPI), definido por Tomlinson *et al.* (1980) foi usado para estimar o nível de poluição global das amostras. Os valores de fundo destes metais foram determinados de acordo com Martins *et al.* (2011).

As amostras destinadas ao estudo dos foraminíferos foram lavadas, com água corrente, com peneiras de 63  $\mu\text{m}$  e 500  $\mu\text{m}$ . Para determinar a abundância de foraminíferos bentônicos (mortos e vivos), foi utilizado o número de carapaças por grama de sedimento seco. Os foraminíferos que apresentavam o seu interior corado com Rosa de Bengala e contendo protoplasma foram considerados vivos no momento da amostragem (Horton, 1999; Murray & Alve, 1999).

Para o estudo das associações de foraminíferos bentônicos, a amostra foi quarteada, até ser possível obter idealmente 300 espécimes vivos e 300 carapaças vazias que é um número considerado estatisticamente representativo para caracterizar a composição das associações (Fatela & Taborda, 2002). Contudo, as amostras com no mínimo de 100 espécimes foram consideradas na análise (Fatela & Taborda, 2002).

### Associações de Foraminíferos em Resposta a Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal

Maria Virgínia A. Martins; Lazaro L.M. Laut; Frederico S. Silva; Paulo Miranda; João Graciano de Mendonça-Filho; Sandra Fernández-Fernández; Sílvia S. Sousa; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; André R. Rodrigues; Cintia Yamashita; Edilson O. Faria; Raquel R. de Oliveira & Renata H. Nagai

A partir dos valores absolutos de foraminíferos foram determinados índices de diversidade de Shannon ( $H' = -\sum p_i \ln p_i$ ) e equitatividade ( $J' = H' / \ln(S)$ ) que foram calculados pelo programa *Excel Biological Tools Version 0.20* de John Hanks.

A análise estatística baseou-se numa matriz de dados abióticos e bióticos, normalizada com Log (x+1). Os dados selecionados da matriz transformada foram submetidos à Análise de Classificação em modo R e a Análise de Componentes Principais (PCA) no programa STATISTICA®, versão 10. A matriz de dados biológicos usada baseou-se na percentagem das espécies que atingiram pelo menos 3% no conjunto dos locais estudados e estiveram presentes em 3 ou mais locais da área de estudo, quer na associação morta, quer na associação viva.

## 3 Resultados

### 3.1 Variáveis Abióticas

O menor valor de temperatura da água (14 °C) foi medido no Canal da Murtosa (R2), na campanha de inverno (2ª campanha), e o maior (23,9 °C) na salina de Santiago da Fonte (C7), na campanha de verão (1ª campanha) (Tabela 1). O menor valor de salinidade da água (0,6) foi medido no Porto de Salreu (R4), na 2ª campanha, e o maior (82,6), na Marinha da Troncalhada (C6), na 1ª campanha (Tabela 1). O menor valor de pH do sedimento (5,80) foi registado no Largo do Laranjo (R3), na 1ª campanha, e o maior (7,88) na Marinha de Santiago da Fonte (C7), na 2ª campanha (Tabela 1). O menor valor de Eh do sedimento superficial (-72,8) foi

medido na marinha de Santiago da Fonte (C7), na 2ª campanha, e o maior (-17,2) no Largo do Laranjo (R3), durante a 2ª campanha (Tabela 1).

As amostras de sedimentos colhidas apresentaram concentrações de lama e areia muito próximos, com uma média de 48,8% de areia e 51,2% de finos (Tabela 2). Os locais estudados com maior conteúdo em finos localizaram-se em canais da cidade de Aveiro (Canal do Cojo, com 97%), no Porto de Salreu (R4 – 92%) e no Largo da Coroa (R5 – 89%). As estações R3 e R7, situadas na zona central e norte da Ria de Aveiro foram as mais arenosas.

Os menores valores da percentagem de carbono (1,4 - 1,7%) e percentagem de enxofre (0,1 - 0,2%) foram encontrados na Marinha de Santiago da Fonte (C7) e na Marinha da Troncalhada (C6), respectivamente. Os maiores valores da percentagem de carbono (3,9%) e percentagem de enxofre (1,2%) foram encontrados no Porto de Salreu (R4) (Tabela 2).

Em geral, as maiores percentagens de COT (2,9-3,9%) ocorrem no Porto de Salreu (R4), em canais da cidade de Aveiro (C4 e C5), Largo da Coroa (R5) e Marina de Ovar (R6). As maiores percentagens de enxofre (0,9-1,7%) registraram-se nos canais da cidade Aveiro (C2 e C5), Porto de Salreu (R4) e Largo da Coroa (R5).

As concentrações de elementos químicos considerados tóxicos para os seres vivos, como o Cd, Co e Ni são baixas, nos locais estudados, enquanto as de As, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe e Al atingem valores relativamente elevadas em alguns locais (Tabela 2). Os sedimentos dos canais da cidade de Aveiro são

	Água				Sedimento					Água				Sedimento					Água				Sedimento			
	Locais	Tem.	Sal.	pH	Eh	Locais	Tem.	Sal.		pH	Eh	Locais	Tem.	Sal.	pH	Eh	Locais		Tem.	Sal.	pH	Eh				
1ª Campanha	C1	22.9	30	7.22	-30.5	C1	19.1	3.2	7.49	-48.2	C1	3.8	26.8	0.27	17.7	C1	3.8	26.8	0.27	17.7						
	C2	22.8	31.2	7.17	-22.8	C2	19.1	11.9	7.47	-47.6	C2	3.7	19.3	0.3	24.8	C2	3.7	19.3	0.3	24.8						
	C3	20.3	35.4	7.38	-40	C3	17	21	7.59	-51.8	C3	3.3	14.4	0.21	11.8	C3	3.3	14.4	0.21	11.8						
	C4	19.8	26.5	7.11	-20.5	C4	14.8	5.3	7.42	-42.1	C4	5	21.2	0.31	21.6	C4	5	21.2	0.31	21.6						
	C5	19.7	35.3	7.47	-56.9	C5	20	15.2	7.59	-51.8	C5	0.3	20.1	0.12	5.1	C5	0.3	20.1	0.12	5.1						
	C6	22.4	82.6	7.4	-42.1	C6	19.1	23.2	7.81	-68.8	C6	3.3	59.4	0.41	26.7	C6	3.3	59.4	0.41	26.7						
	C7	23.9	79.3	7.31	-37.9	C7	18.9	18.9	7.88	-72.8	C7	5	60.4	0.57	34.9	C7	5	60.4	0.57	34.9						
	C8	21	34.6	7.41	-42.1	C8	18.2	18.9	7.29	-36.4	C8	2.8	15.7	0.12	5.7	C8	2.8	15.7	0.12	5.7						
2ª Campanha	R1	21.9	28.8	7.13	-27.7	R1	14.8	6.2	7.35	-41.6	R1	7.1	22.6	0.22	13.9	R1	7.1	22.6	0.22	13.9						
	R2	21.8	27.9	6.71	-23.1	R2	14	3.2	7.18	-29.6	R2	7.8	24.7	0.47	6.5	R2	7.8	24.7	0.47	6.5						
	R3	21.7	28.5	5.8	-51	R3	15.1	2.5	6.93	-17.2	R3	6.6	26	1.13	33.8	R3	6.6	26	1.13	33.8						
	R4	18.1	12.4	7.2	-30.8	R4	14.4	0.6	6.64	-32.1	R4	3.7	11.8	0.56	1.3	R4	3.7	11.8	0.56	1.3						
	R5	19.3	32.4	7.07	-23.8	R5	14.9	5.2	7.4	-47.7	R5	4.4	27.2	0.33	23.9	R5	4.4	27.2	0.33	23.9						
	R6	18.3	30.6	7.4	-46	R6	16.6	7.7	7.22	-35.1	R6	1.7	22.9	0.18	10.9	R6	1.7	22.9	0.18	10.9						
	R7	18.2	36.6	7.2	-33.6	R7	16.2	16.9	7.22	-32.2	R7	2	19.7	0.02	1.4	R7	2	19.7	0.02	1.4						
	R8	18.7	39.1	7.2	-30.8	R8	14.9	19.5	7.58	-62.2	R8	3.8	19.6	0.38	31.4	R8	3.8	19.6	0.38	31.4						

Tabela 1 Valores das variáveis físico-químicas das duas campanhas de amostragem.

os que apresentam concentrações mais elevadas de fósforo. Na cidade de Aveiro, os sedimentos do Canal do Cojo (C1 e C2) apresentam concentrações elevadas de Pb, e os sedimentos do Porto de Salreu (R4) e Largo do Laranjo (R3) apresentam concentrações relativamente elevadas de As, Cu, Cr e Zn.

Os valores do índice de carga poluente (PLI) apresentaram os menores valores (22,3 e 24,4) nas amostras C7 (salina de Santiago da Fonte) e R7 (Canal de Ovar, Ponte da Varela), e o maior valor (67,8) no Porto de Salreu (Tabela 2).

### 3.2 Foraminíferos

Nas duas campanhas, entre foraminíferos vivos (corados com rosa de Bengala) e mortos foram encontradas 74 espécies, sendo 33 de aglutinantes, 34 de calcários hialinos e 9 de calcários porcelânicos. Os valores de percentagem máxima e média das espécies mais frequentes mortas e vivas nas campanhas de amostragem encontram-se indicadas na Tabela 3. As principais espécies encontradas foram: *Haynesina germanica*, *Trochammina inflata*, *Ammonia tepida*, *Cibicides ungerianus*, *Tiphotrocha comprimata*, *Elphidium excavatum* e *Jadammina macrescens*. Outras espécies também se encontram significativamente representadas, como por exemplo: *Quinqueloculina seminula*, *Elphidium articulatum*, *Ammonia parkinsoniana*, *Bolivina ordinaria*, *Balticammina pseudomacrescens*, *Miliammina fusca*, *Arenoparrella mexicana* e *Elphidium discoidale*.

Relativamente à fauna viva da campanha de verão, dos 16 locais analisados apenas um não apresentou foraminíferos vivos (R4). As amostras R7 e R8 contaram apenas com um organismo vivo, sendo que no restante das amostras foram encontrados 1.893 organismos vivos, com uma média de 118 espécimes e sete espécies por amostra; as espécies hialinas *A. tepida* (43,2%) e *H. germanica* (36,9%) apresentaram grande abundância de organismos vivos, na maioria dos locais. A fauna viva apresentou uma diversidade de *Shannon* média de 1,16 e equitatividade média de 0,56.

A fauna morta da primeira campanha apresentou um total 4.422 organismos, com uma média de 520 organismos e 16 espécies, por amostra. Nesta campanha, o local C7 foi o que apresentou menor abundância de foraminíferos com 30 organismos. As principais espécies, *H. germanica* (35,5%), *A. tepida* (27,5%) e *T. inflata* (12,2%) apresentaram grande abundância e ocorreram na maioria das amostras. A fauna morta apresentou uma diversidade de *Shannon* média de 1,62 e equitatividade média de 0,61.

Relativamente à fauna viva da campanha de inverno, das 16 amostras analisadas duas não apresentaram foraminíferos vivos (C7 e R5), sendo que no restante das amostras foram encontrados 1.719 organismos, com uma média de 107 espécimes e cinco espécies por amostra. A amostra R4 contou apenas com um organismo vivo. As espécies *A. tepida* (35,5%), *T. inflata* (25,3%), *H. germanica* (13,0%) apresentaram grande abundância e ocorreram na maioria das amostras. A fauna viva desta campanha apresentou uma diversidade de *Shannon* média de 1,08 e equitatividade média de 0,60.

Tabela 2 Percentagem de finos (fração fina <63 µm), de COT (carbono orgânico total) e de S (enxofre). Valores de PLI (índice de enriquecimento de metais considerados tóxicos). Concentrações de Al (%), As (mg kg<sup>-1</sup>), Ca (%), Cd (mg kg<sup>-1</sup>), Co (mg kg<sup>-1</sup>), Cr (mg kg<sup>-1</sup>), Cu (mg kg<sup>-1</sup>), Fe (%), Ni (mg kg<sup>-1</sup>), P (%), Pb (mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (mg kg<sup>-1</sup>).

Local	Finos	COT	S	PLI	Al	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	P	Pb	Zn
C1	97	2.3	0.8	44	8.0	17	2.0	1.0	10	49	60	3.0	25	1.00	186	206
C2	79	2.2	0.9	52	8.0	17	2.0	1.0	14	49	54	3.0	26	1.00	434	246
C3	51	2.3	0.9	37	7.0	21	1.0	1.0	9	50	41	3.0	28	1.00	62	171
C4	46	3.3	1.7	54	7.0	19	1.0	1.0	10	56	121	5.0	37	1.00	135	379
C5	79	3.2	1.1	50	8.0	18	1.0	1.0	10	68	91	4.0	35	1.00	115	302
C6	54	1.7	0.1	29	6.0	11	1.0	1.0	8	48	22	3.0	24	1.00	64	116
C7	27	1.4	0.2	22	5.0	9	1.0	1.0	5	34	19	2.0	18	1.00	51	80
C8	37	2.4	0.8	36	7.0	17	1.0	1.0	8	53	59	3.0	26	1.00	64	180
R1	33	3.1	0.7	41	6.8	51	0.3	0.7	11	52	43	3.0	29	0.09	59	257
R2	38	2.2	0.6	30	6.4	23	0.3	0.5	7	40	37	2.4	23	0.08	42	174
R3	13	3.0	0.4	63	7.5	103	0.3	0.6	14	61	53	3.9	33	0.14	107	274
R4	92	3.9	1.5	68	8.3	119	0.3	2.0	12	71	69	4.0	38	0.12	63	507
R5	89	3.2	0.9	51	6.7	28	0.5	1.8	13	67	55	4.0	39	0.12	50	662
R6	39	2.9	0.7	42	7.3	23	0.3	0.9	12	58	52	3.4	33	0.10	50	470
R7	12	2.6	1.0	24	4.5	15	0.5	0.5	7	35	21	2.3	21	0.06	28	190
R8	33	2.1	0.8	28	7.9	17	0.8	0.5	8	44	25	2.7	24	0.08	34	207

## Associações de Foraminíferos em Resposta a Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal

Maria Virgínia A. Martins; Lazaro L.M. Laut; Frederico S. Silva; Paulo Miranda; João Graciano de Mendonça-Filho; Sandra Fernández-Fernández; Sílvia S. Sousa; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; André R. Rodrigues; Cintia Yamashita; Edilson O. Faria; Raquel R. de Oliveira & Renata H. Nagai

Espécies	M/V	Camp.	Max.	Med.	Espécies	M/V	Camp.	Max.	Med.	Espécies	M/V	Camp.	Max.	Med.
<i>Ammotium cassis</i>	M	1	2,0	0,3	<i>Deuterammia discorbis</i>	M	1	1,8	0,3	<i>Jadammina macrescens</i>	V	2	3,7	0,9
<i>Ammotium cassis</i>	M	2	0,6	0,2	<i>Elphidium articulatum</i>	M	1	3,9	1,1	<i>Miliammina fusca</i>	M	1	0,5	0,1
<i>Arenoparrella mexicana</i>	M	1	1,7	0,5	<i>Elphidium articulatum</i>	M	2	3,3	1,2	<i>Miliammina fusca</i>	M	2	3,0	0,6
<i>Arenoparrella mexicana</i>	M	2	3,0	0,4	<i>Elphidium articulatum</i>	V	1	2,6	0,7	<i>Protoschista findens</i>	M	1	1,6	0,2
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	M	1	3,2	1,0	<i>Elphidium articulatum</i>	V	2	2,5	0,5	<i>Protoschista findens</i>	V	1	2,3	0,3
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	M	2	2,3	0,8	<i>Elphidium discoidale</i>	M	1	1,0	0,1	<i>Paratrochammina madeira</i>	M	1	1,6	0,3
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	V	1	2,0	0,5	<i>Elphidium discoidale</i>	M	2	2,9	0,5	<i>Quinqueloculina seminula</i>	M	1	3,0	1,2
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	V	2	1,3	0,3	<i>Elphidium excavatum</i>	M	1	4,5	1,9	<i>Quinqueloculina seminula</i>	M	2	3,1	0,6
<i>Ammonia tepida</i>	M	1	5,6	4,1	<i>Elphidium excavatum</i>	M	2	3,6	1,5	<i>Quinqueloculina seminula</i>	V	1	3,2	1,2
<i>Ammonia tepida</i>	M	2	6,1	3,8	<i>Elphidium excavatum</i>	V	1	4,7	1,3	<i>Quinqueloculina seminula</i>	V	2	4,0	0,5
<i>Ammonia tepida</i>	V	1	6,1	4,1	<i>Elphidium excavatum</i>	V	2	4,3	1,4	<i>Siphotrochammina lobata</i>	M	1	2,0	0,5
<i>Ammonia tepida</i>	V	2	6,0	3,3	<i>Gavelinopsis praegeri</i>	M	1	2,3	0,3	<i>Tiphotrocha comprimata</i>	M	1	3,3	0,7
<i>Bolivina ordinaria</i>	M	1	3,2	0,3	<i>Haynesina germanica</i>	M	1	5,7	4,8	<i>Tiphotrocha comprimata</i>	M	2	5,1	1,4
<i>Bolivina ordinaria</i>	V	1	1,0	0,2	<i>Haynesina germanica</i>	M	2	5,7	2,9	<i>Tiphotrocha comprimata</i>	V	1	2,2	0,2
<i>Balticammina pseudomacrescens</i>	M	1	3,1	0,4	<i>Haynesina germanica</i>	V	1	6,6	4,2	<i>Tiphotrocha comprimata</i>	V	2	5,3	0,6
<i>Balticammina pseudomacrescens</i>	M	2	1,6	0,2	<i>Haynesina germanica</i>	V	2	5,5	2,3	<i>Trochammina inflata</i>	M	1	6,3	2,6
<i>Balticammina pseudomacrescens</i>	M	1	1,0	0,1	<i>Jadammina macrescens</i>	M	1	4,1	1,3	<i>Trochammina inflata</i>	M	2	6,3	3,4
<i>Cibicides ungerianus</i>	M	1	3,5	0,4	<i>Jadammina macrescens</i>	M	2	4,5	2,3	<i>Trochammina inflata</i>	V	1	5,3	1,4
<i>Cibicides ungerianus</i>	M	2	5,3	0,4	<i>Jadammina macrescens</i>	V	1	3,3	0,6	<i>Trochammina inflata</i>	V	2	6,4	2,3

Tabela 3 Valores de percentagem máxima (Max.) e média (Med.) das espécies mais frequentes mortas e vivas (M/V) nas campanhas (Camp.) 1 e 2.

A fauna de foraminíferos mortos da segunda campanha apresentou um total 4.307 organismos, com uma média de 269 organismos e 11 espécies por amostra. A amostra C7 foi novamente a menos abundante com 23 organismos. As principais espécies, *A. tepida* (28,0%), *T. inflata* (24,5%), *H. germanica* (14,2%) e *J. macrescens* (9,1%) ocorreram na maioria das amostras. A fauna morta apresentou uma diversidade de Shannon média de 1,43; e equitatividade média de 0,63.

### 3.3 Análises Estatísticas

#### 3.3.1 Variáveis Abióticas

A análise de classificação em modo R, baseada numa seleção de dados relativos a variáveis abióticas permite distinguir quatro grupos de variáveis cujo padrão de distribuição é semelhante: I - variação de parâmetros ambientais (variação nas campanhas 1 e 2 de temperatura e salinidade da água e de pH e Eh, no sedimento) e areia muito fina a fina (frações granulométricas 125-63 µm e 250-125 µm); II – concentração de Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, e Zn, teores de COT e enxofre e valores de PLI; III – frações mais grosseiras do sedimento, cascalho (>1000 µm), areia grossa (1000-500 µm) e areia média (500-250 µm); IV – percentagem de finos (fração granulométrica <63 µm) e teores de Ca, Cd, P e Pb (Figura 2).

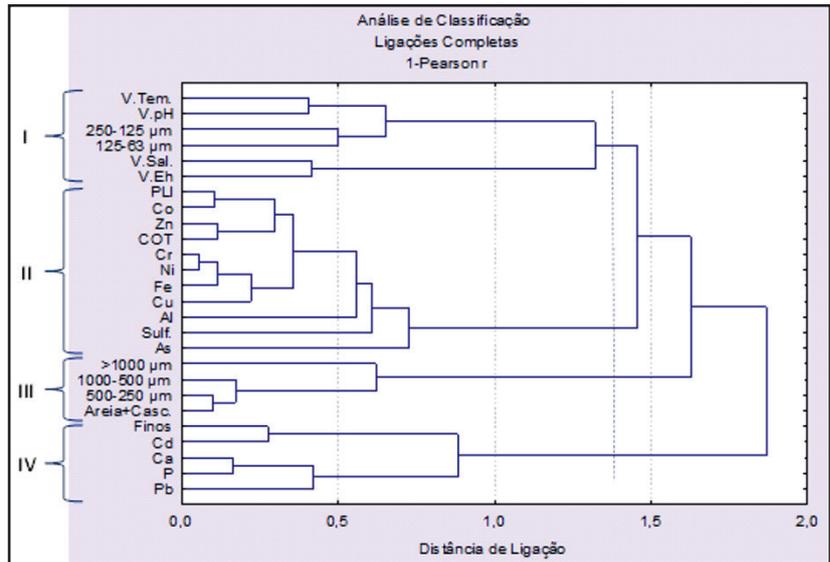
#### 3.3.2 Variáveis Bióticas

As variáveis bióticas foram também submetidas à análise de classificação em modo R (Figura 3), tendo-se para o efeito usado os resultados da abundância relativa das principais espécies na associação viva (V) e morta (M), nas campanhas 1 e 2. Os resultados permitem verificar que: **i)** a associação morta reflete a associação viva em cada uma das campanhas, na generalidade dos locais estudados, no caso das espécies: *A. tepida*, *H. germanica*, *E. articulatum*, *E. excavatum*, *J. macrescens*, *Q. seminula* e *T. comprimata*; **ii)** a associação viva das espécies seguintes varia sazonalmente: *A. tepida*, *A. parkinsoniana*, *E. excavatum*, *H. germanica*, *Q. seminula* e *T. comprimata*; **iii)** a associação morta das seguintes espécies varia sazonalmente: *A. cassis*, *A. tepida*, *E. discoidale*, *E. excavatum*, *Q. seminula*, *T. comprimata* e *T. inflata*; **iv)** a associação viva e morta de *E. articulatum* tende a permanecer estável; **v)** as seguintes espécies só estão presentes na associação morta: *A. cassis*, *A. mexicana*, *B. pseudomacrescens*, *C. ungerianus*, *E. discoidale* e *M. fusca*; **vi)** algumas espécies só apareceram numa campanha, sendo a associação morta um reflexo da associação viva: *Bolivina ordinaria* e *Protoschista findens*; **vii)** a associação morta de *T. inflata* não reflete a associação viva.

### Associações de Foraminíferos em Resposta a Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal

Maria Virginia A. Martins; Lazaro L.M. Laut; Frederico S. Silva; Paulo Miranda; João Graciano de Mendonça-Filho; Sandra Fernández-Fernández; Sílvia S. Sousa; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; André R. Rodrigues; Cintia Yamashita; Edilson O. Faria; Raquel R. de Oliveira & Renata H. Nagai

Figura 2 Análise de classificação em modo R baseada nas variáveis abióticas: variação nas campanhas 1 e 2 de temperatura e salinidade da água (VTemp. e V.sal., respetivamente); variação nas campanhas 1 e 2 do pH e Eh no sedimento (V.pH e Eh, respetivamente); percentagem das seguintes fracções granulométricas: Finos (<63 µm), > 1000 µm - cascalho, 1000-500 µm - areia grossa, 500-250 µm - areia média, 250-125 µm - areia fina, 125-63 µm - areia muito fina; concentração de elementos químicos; teores de COT e enxofre (sulf.) e valores do fator de enriquecimento PLI.



#### 3.3.3 Influência das condições ambientais nas associações de foraminíferos

Os dados da abundância de foraminíferos, riqueza específica, índice de Shannon, e equitabilidade relativos às campanhas 1 e 2 e às associações viva e morta destes organismos foram submetidos a análise de classificação em modo R, em conjunto com uma seleção de variáveis abióticas. O dendrograma apresentado na Figura 4 define três grupos de variáveis. O grupo 1, inclui os valores de equitabilidade das associações morta das campanhas 1 e 2, a percentagem de areia+cascalho e os valores de variação de salinidade, pH e Eh. O grupo 2 é constituído pela abundância, diversidade e riqueza específica de foraminíferos mortos, nas campanhas 1 e 2 e pelas seguintes variáveis abióticas: concentração de As, Cr, Cu, Fe, Ni e Zn, teores de COT e enxofre e valores de PLI. O grupo 3 é constituído pelos valores de abundância, diversidade, riqueza específica e equitabilidade das associações vivas das campanhas 1 e 2, pela percentagem de finos (fração sedimentar <63 µm) e pela concentração de Al, Pb, P e Ca.

As principais espécies vivas encontradas nas áreas estudadas, nas campanhas 1 e 2, foram confrontadas através de Análise de Componentes Principais com vários parâmetros abióticos. Os resultados dos três primeiros fatores, os quais explicam 57% da variabilidade dos dados foram representados graficamente (Figura 5). O fator 1 contra o fator 2 permite definir três grupos de variáveis (Figura 5). O grupo 1 separa a variação de salinidade

e de Eh, do grupo 2, o qual inclui as espécies vivas em ambas as campanhas de *A. parkinsoniana*, *A. tepida*, *H. germanica*, *E. excavatum*, *E. articulatum* e *Q. seminula*, assim como a percentagem de finos (fração sedimentar <63 µm). O grupo 3 é constituído pelas espécies vivas de ambas as campanhas *T. inflata* e *J. macrescens* e ainda *T. comprimata*, na campanha 2, e *P. findens*, apenas presente na campanha 1. O fator 1 contra o fator 3 permite separar ainda os grupos IV e V (Figura 6). O grupo IV associa *B. ordinaria*, presente na campanha 1, a COT, enxofre e PLI, enquanto o grupo 2 relaciona *H. germanica* e *T. inflata*, na campanha 1, à fração granulométrica areia+cascalho.

#### 3.6.4 Classificação dos Locais Estudados em Função do Grau de Estresse Ambiental

O gráfico obtido do fator score 1 versus 2 apresentado na Figura 7, e relativo ao PCA referido no tópico anterior (cujos resultados se apresentam nas Figuras 5 e 6) estabelece quatro grupos de estações principais: os grupos I e II reunindo estações localizados na Cidade de Aveiro, cuja comunicação com o corpo lagunar é regulada por comportas, o grupo III constituído pelas estações mais internas do Canal da Murtoza e do Canal de Ovar e o grupo 4 incluindo estações localizadas nas margens de canais expostos não só à influência da subida e descida da maré, como afetados frequentemente por exposição subaérea.

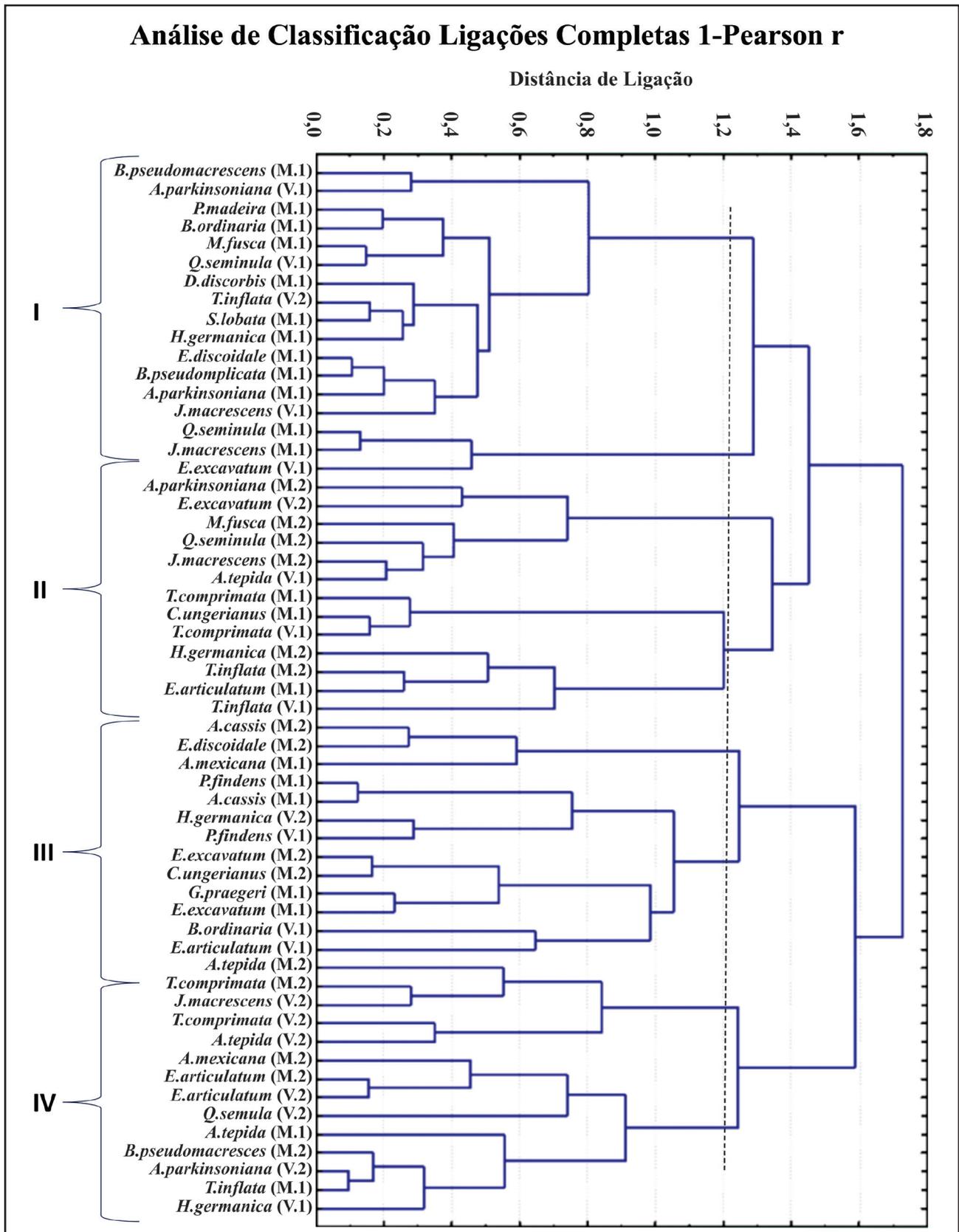


Figura 3 Análise de classificação em modo R baseada nos resultados das campanhas 1 e 2 e na percentagem das espécies na associação viva (V) e morta (M).

## Associações de Foraminíferos em Resposta a Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal

Maria Virgínia A. Martins; Lazaro L.M. Laut; Frederico S. Silva; Paulo Miranda; João Graciano de Mendonça-Filho; Sandra Fernández-Fernández; Sílvia S. Sousa; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; André R. Rodrigues; Cintia Yamashita; Edilson O. Faria; Raquel R. de Oliveira & Renata H. Nagai

Figura 4 Análise de classificação em modo R baseada nos seguintes resultados bióticos obtidos nas campanhas 1 e 2 e relativos às associações viva (V) e morta (M) de foraminíferos: abundância de foraminíferos (F.A.), riqueza específica (S), índice de Shannon (H), Equitatividade (E). Estas variáveis bióticas foram confrontadas com as seguintes variáveis abióticas: variação de salinidade da água (V.Sal.) e variação de pH e Eh no sedimento (V.pH e V.Eh, respectivamente); concentração de Al, As, Ca, Cr, Cu, Fe, Ni, P, Pb e Zn; percentagem de fração fina (<63 µm), COT, enxofre (sulf.) e ainda; valores do índice de carga poluente, PLI.

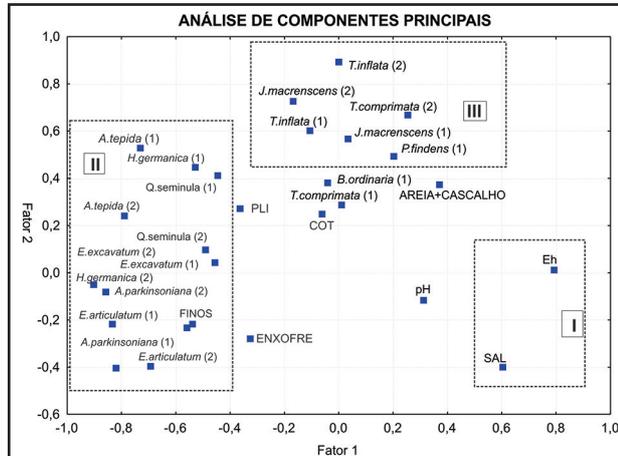
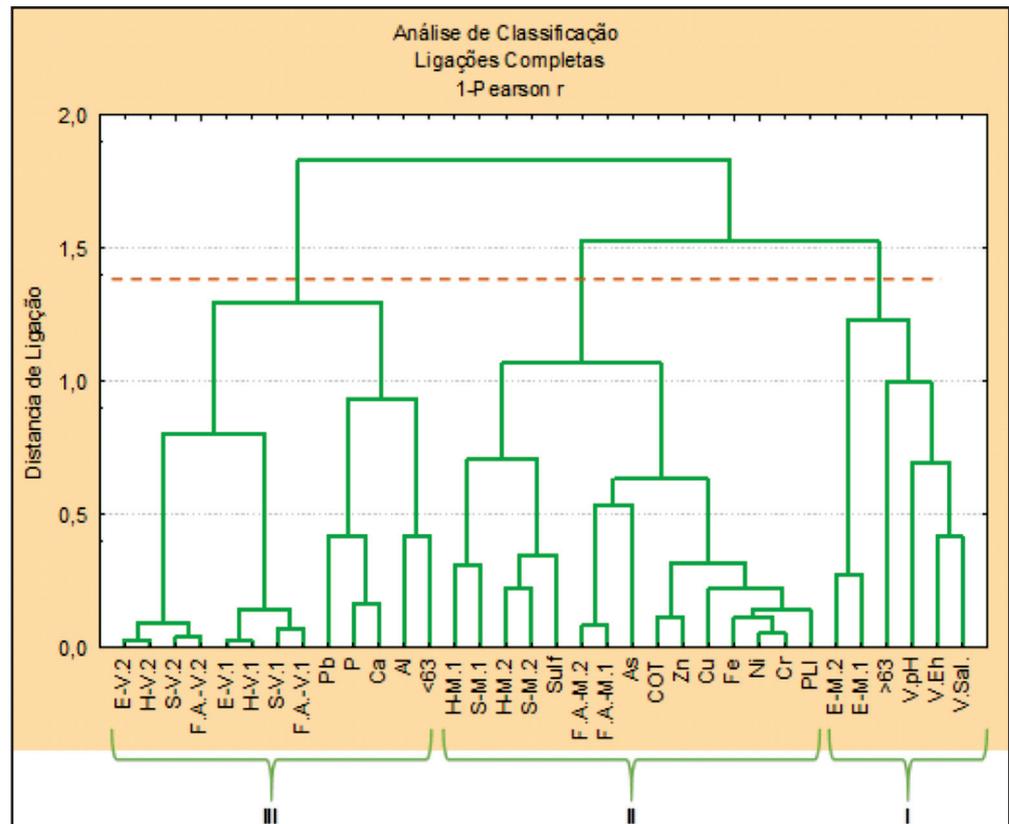


Figura 5 Análise de Componentes Principais baseada nas variáveis abióticas e nas principais espécies vivas na campanha (1) e (2). O fator 1 contra o fator 2 permitiu distinguir três grupos de variáveis.

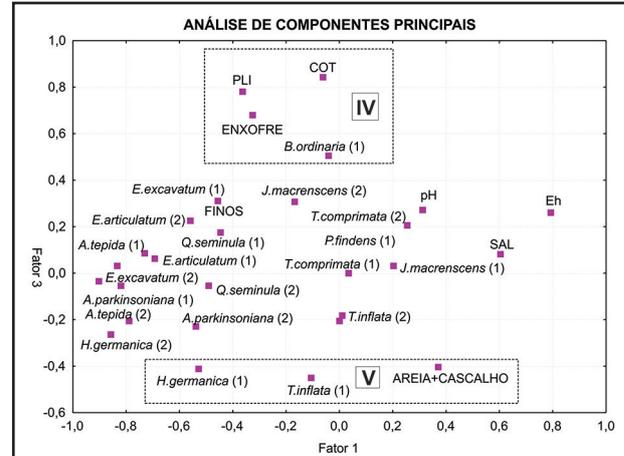


Figura 6 Análise de Componentes Principais baseada nas variáveis abióticas e nas principais espécies vivas encontradas nas campanhas (1) e (2). O fator 1 contra o fator 3 permite separar os grupos IV e V.

## 4 Discussão

### 4.1 Características

#### Físico-Químicas dos Locais Estudados

As maiores oscilações de salinidade na ria registaram-se nas marinhas da Troncalhada e de Santiago da Fonte, em decorrência da entrada de água salgada e da taxa de evaporação na região.

Não se verificam grandes diferenças nos valores de pH medidos, à exceção do Largo do Laranjo, das marinhas da Troncalhada e de Santiago da Fonte e do Porto de Salreu.

Os valores negativos de Eh refletem teores baixos de oxigênio no ambiente sedimentar. Os valores mais baixos de Eh registam-se, em geral, em

zonas de acumulação de sedimentos lamosos, onde as correntes calmas permitem também a acumulação de matéria orgânica. Onde grande quantidade de matéria orgânica se acumula e tende a permanecer, ocorrem intensos processos de degradação desta, dando lugar ao consumo de oxigênio e à formação de sedimentos subóxicos e anóxicos. Este quadro pode ser constatado nos canais da Cidade de Aveiro, no Largo da Coroa e no Porto de Salreu.

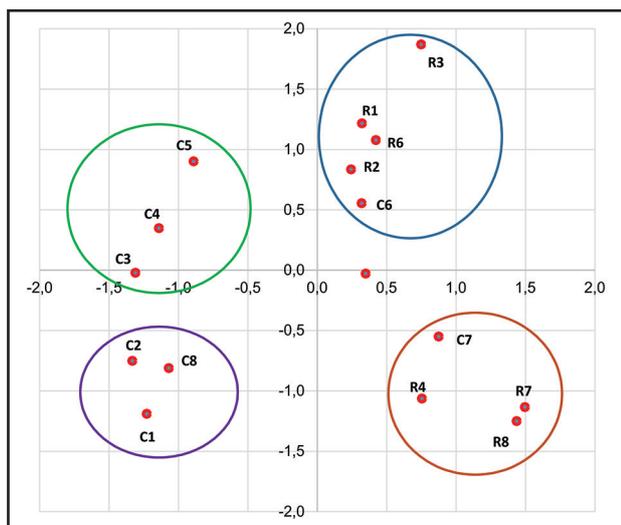


Figura 7 O gráfico obtido a partir dos dados do fator score 1 versus 2 da PCA apresentada na figuras 5 e 6, definindo quatro grupos principais de estações.

#### 4.2 Composição Geoquímica do Sedimento

O Al está normalmente associado aos filossilicatos, mais abundantes em geral nos sedimentos finos. Nos locais em que a fração fina predomina, a concentração de Al aumenta, tal como foi verificado por Martins *et al.* (2010, 2011, 2013). Teores mais elevados de ferro também se encontram associados, sobretudo à fração mineralógica presente nos sedimentos mais finos. O Ca está em grande parte associado à componente biogênica carbonatada dos sedimentos, estando nos locais estudados associado, sobretudo ao enriquecimento de finos, o que sugere uma distribuição desta componente condicionada pela hidrodinâmica.

Existem concentrações relativamente elevadas de vários metais considerados tóxicos, em alguns locais estudados, sobretudo em zonas de baixa hidrodinâmica e sob a influência direta ou próxima da descarga de efluentes industriais e municipais. A elevada concentração de Pb e Zn, no canal do Cojo,

Cidade de Aveiro, por exemplo, é o resultado da intensa atividade industrial (cerâmica e vidro) que existiu desde finais do século XVIII até meados do século XX (Martins *et al.*, 2010). As atividades industriais nos arredores do canal do Cojo cessaram há mais de 60 anos (Martins *et al.*, 2010), contudo a atividade de dragagem dos canais para manutenção da navegabilidade pode estar disponibilizando Pb para a camada superficial do sedimento.

A elevada concentração de Zn, Cu, Cr e Fe, verificada na cidade de Aveiro. No Cais dos Moliceiros (Alboi) poderá estar relacionada com a laboração de uma indústria metalúrgica situada próximo deste local (Martins *et al.*, 2010). No Cais dos Mercantéis, uma zona densamente povoada, onde existe intensa atividade comercial, por se encontrar aí instalado o atual mercado de peixe, e com tráfego de pequenos barcos, também se registou uma concentração significativa de Zn, Cu, Cr e Fe. Na marina da Troncalhada também se registam concentrações mais elevadas de Pb, Zn, e Cr, por localizar-se próximo do Canal das Pirâmides que possui intenso tráfego de barcos.

O fósforo ocorre em concentrações relativamente elevadas na cidade de Aveiro, devido principalmente ao escoamento de águas residuais domésticas. Estas águas dos efluentes domésticos podem conter elevada concentração de fosfatos, causado por detergentes e outros resíduos domésticos. Os teores elevados deste elemento beneficiam a produtividade biológica, daí decorrendo problemas de eutrofização e carência de oxigênio na água e no sedimento, nos locais mais confinados. O acumulo de elevada quantidade de matéria orgânica dá lugar ao decréscimo de oxigênio, gerando-se condições para a formação de sulfuretos (Martins *et al.*, 2013), como denotam também os dados relativos aos teores de enxofre obtidos neste trabalho.

Os valores de PLI, usados para estimar o nível de poluição global, também são mais elevados no Largo do Laranjo e Porto de Salreu, indicando um nível de poluição mais acentuado nestas zonas. Estas áreas têm sido afetadas por contaminantes químicos derivados de ações antrópicas. O Porto de Salreu é uma zona muito confinada, densamente povoada e rodeada por campos agrícolas e atividades industriais diversas. O Largo do Laranjo recebe efluentes urbanos e industriais lançados pelo

chamado Complexo Químico de Estarreja (Pereira *et al.*, 2005; 2009), sendo afetado também pelo escoamento dos campos agrícolas.

### 4.3 Composição

#### Microfaunal nos Locais Estudados

A densidade de foraminíferos mortos é relativamente maior que a dos vivos, nos locais estudados, isto porque as carapaças vazias representam um registo temporal maior, assim como podem ser o resultado do acúmulo de carapaças resultante do transporte por correntes. Nos locais estudados, não foi constatado efeitos tafonômicos significativos para a maioria das espécies principais, ou seja, a associação morta tem uma boa correlação com a viva.

As salinas são os locais onde existe uma menor densidade de foraminíferos (mortos e vivos), pois são áreas em que os parâmetros ambientais são mais variáveis, atingindo valores extremos de salinidade, a somar a outros fatores de *stress* ambiental, o que condiciona de sobremaneira a sobrevivência destes organismos.

#### 4.4 Resposta dos Foraminíferos à Variabilidade Ambiental e ao Enriquecimento em Metais

As associações vivas de foraminíferos são compostas por espécies euritérmicas e eurialinas, conhecidas pela sua tolerância à variação de temperatura e salinidade (Murray, 1991; 2001), sendo em geral capazes de viver em meios eutróficos e de suportar redução significativa dos teores de oxigênio no sedimento (Sen Gupta, 1999). A densidade e diversidade de foraminíferos são reduzidas na ria, o que pode indicar um nível de estresse ambiental elevado. A população viva da maioria das espécies parece ser bastante variável ao longo do ano, como sugerem os dados apresentados na Figura 3. Este fato também foi observado no oeste da França (Debenay *et al.*, 2006) e no sudoeste da Espanha (Papaspyrou *et al.*, 2013).

A estrutura das associações vivas e mortas de foraminíferos encontradas na área de estudo, no que diz respeito à sua densidade, riqueza específica, diversidade e equitatividade, varia em função

das características ambientais, como indicam os resultados apresentados na Figura 4. As associações vivas são, em geral, mais numerosas, diversificadas e com maior grau de equitatividade, em sedimentos finos, com menores concentrações de metais como As, Cr, Cu, e Zn, mas com teores de P mais elevadas. O aumento da concentração de P tem implicações na produtividade biológica e no fornecimento de matéria orgânica de elevada qualidade para o ambiente bentônico, beneficiando os organismos que ali vivem. Os resultados deste grupo sugerem também que as espécies lagunares são tolerantes ao enriquecimento em Pb.

Já a associação de variáveis no grupo II da figura 4, nas quais se inclui a abundância, a riqueza específica e a diversidade das associações mortas, em ambas as campanhas, sugere que o enriquecimento em COT, enxofre, metais como As, Cr, Cu e Zn e o conseqüente aumento de valores de PLI, determina um aumento da mortalidade dos organismos pertencentes a um diversificado conjunto de espécies.

Os resultados da PCA apresentados na Figura 7 permitem especificar algumas das ligações tiradas na análise efetuada anteriormente. O fator 1 coloca em oposição a variação de salinidade e de Eh em relação a várias espécies vivas em ambas as campanhas, como por exemplo: *A. parkinsoniana*, *A. tepida*, *H. germanica*, *E. excavatum*, *E. articulatum* e *Q. seminula*, sugerindo uma influência negativa destes fatores sobre os referidos organismos. O fator 2 junta espécies aglutinantes características de zonas onde a salinidade sofre mais variações sazonais, podendo não só atingir valores muito elevados como relativamente baixos. Inclui espécies vivas de ambas as campanhas como *T. inflata* e *J. macrescens* e ainda *T. comprimata*, na campanha 2, e *P. findens*, na campanha 1, denotando para estas duas últimas espécies uma presença mais errática. Estas espécies aglutinantes suportam não só variações significativas de pH, como sucede nas zonas mais internas da Ria de Aveiro. A diminuição do pH é um fator muito estressante para espécies calcárias e causa a dissolução das carapaças.

O fator 3 associa a espécie *B. ordinaria*, na campanha de final de verão, a variáveis como COT, PLI e enxofre (Figura 6). Esta espécie pode ser considerada como oportunista, pois é capaz de tolerar

a redução de salinidade, elevados teores de matéria orgânica e baixa concentração de oxigênio (Martins *et al.*, 2011). As espécies do grupo 5, *H. germanica* e *T. inflata*, apesar de ocuparem frequentemente sedimentos lamosos parecem beneficiar de condições relativamente mais hidrodinâmicas.

#### 4.5 Classificação dos Locais Estudados em Função do Grau de Estresse Ambiental

O gráfico do fator score 1 versus 2 apresentado na Figura 10, relativo à PCA anterior estabelece quatro grupos de estações principais: os grupos I e II localizados na cidade de Aveiro, com características distintas na generalidade dos casos das restantes áreas da Ria de Aveiro analisadas neste trabalho. Essas especificidades têm a ver com a ocorrência de fatores físico-químicos e hidrodinâmicos e com um grau intermédio de impacto ambiental. O grupo III que inclui as estações localizadas na zona interna do Canal da Murtosa (R1, 2 e 3) e de Ovar (R6) são zonas afetadas por concentrações relativamente elevadas de poluentes e por oscilações significativas nos valores de Eh. O grupo IV inclui estações afetadas por exposição subaérea frequente dos sedimentos, dada a sua localização na margem dos canais (R4, R7, R8) e a salina de Santiago da Fonte (C7).

#### 5 Conclusão

As condições de salinidade nos canais da Ria de Aveiro fortemente influenciados pelas águas oceânicas, bem como pelo fluxo de água doce de vários rios e riachos, como por exemplo, do Rio Vouga e o Rio Antuã, são um dos fatores condicionantes das comunidades de foraminíferos que vivem neste ecossistema. Os rios e outros cursos de água introduzem na laguna um contributo de matéria orgânica continental adicional à que resulta da bioprodutividade neste sistema. Os processos de decomposição da matéria orgânica contribuem para o abaixamento de pH e do Eh, sobretudo nas zonas mais protegidas e menos hidrodinâmicas. Os sedimentos encontrados na maioria dos locais estudados são comumente anóxicos ou subóxicos alguns milímetros abaixo da superfície.

As associações de foraminíferos nos canais da cidade de Aveiro integram espécies euritéricas e eurihalinas, sendo maioritariamente tolerantes à redução de oxigênio e à presença de sulfuretos no ambiente sedimentar. Porém a oscilação significativa

dos valores da salinidade e de Eh, condiciona o desenvolvimento de populações densas e diversificadas de foraminíferos. A acrescentar a este tipo de *stress* ambiental, alguns dos locais estudados possuem valores de PLI mais elevados. É o caso do Largo do Laranjo, Porto de Salreu, Largo da Coroa e cidade de Aveiro, sendo estas as zonas de estudo mais poluídas por metais pesados, em consequência principalmente da intensa atividade industrial presente ou passada.

Os resultados apresentados evidenciam o efeito negativo que o aumento das concentrações de metais pesados como o As, Cr, Cu e Zn têm sobre as associações vivas de foraminíferos. A generalidade das espécies parece ser prejudicada, pois os teores elevados destes metais ocasionam uma diminuição na abundância, diversidade e equitatividade das associações vivas, causando elevada mortalidade dos indivíduos, nas zonas mais poluídas dos canais da Ria de Aveiro. No entanto, as associações aqui encontradas parecem ser tolerantes ao enriquecimento de alguns metais, como por exemplo, de Pb, desde que o meio lhes proporcione abundância e qualidade de alimento. Os dados analisados permitem considerar a maioria das estações do setor N e este da Ria e as salinas de Aveiro como locais de maior *stress* ambiental tanto por causas naturais como antrópicas.

#### 6 Agradecimentos

Este projeto foi suportado por verbas do projeto PEst-OE/CTE/UI4035/2014 (FCT, Portugal). Os autores agradecem a colaboração do Sr. João Lopes Graça, do Departamento de Geociências, da Universidade de Aveiro, pelo apoio prestado durante o trabalho de campo.

#### 7 Referências

- Barbero, R. S.; Albani, A. D. & Bonardi, M. 2004. Ancient and modern salt marshes in the Lagoon of Venice. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 202: 229–244.
- Debenay, J.P.; Bicchi, E.; Goubert, E. & Arminot du Châtelet, E. 2006. Spatio-temporal distribution of benthic foraminifera in relation to estuarine dynamics (Vie estuary, Vendée, W France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67: 181–197.
- Dias, J.A.; Ferreira, M.C. & Pereira, A.R. 1994. Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e a Nazaré. e-books: [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_EspinhoNazare.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_EspinhoNazare.html)
- Dias, J.M. 2001. *Contribution to the Study of the Ria de Aveiro*

## Associações de Foraminíferos em Resposta a Variações Ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal

Maria Virgínia A. Martins; Lazaro L.M. Laut; Frederico S. Silva; Paulo Miranda; João Graciano de Mendonça-Filho; Sandra Fernández-Fernández; Sílvia S. Sousa; Maria Antonieta da Conceição Rodrigues; André R. Rodrigues; Cintia Yamashita; Edilson O. Faria; Raquel R. de Oliveira & Renata H. Nagai

- Hydrodynamics*. Universidade de Aveiro, Tese de Doutoramento, 288 p.
- Dias, J.M. & Mariano, S.C. 2011. Numerical modelling of hydrodynamic changes induced by a jetty extension – the case of Ria de Aveiro (Portugal). *Journal of Coastal Research*, 64: 1008–1012.
- Edwards, R.J.; Wright, A.J. & Van de Plassche, O. 2004. Surface distributions of salt-marsh foraminifera from Connecticut, USA: modern analogues for high-resolution sea level studies. *Marine Micropaleontology*, 51: 1–21.
- Fatela, F. & Taborda, R. 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45: 169–174.
- Folk, R.L. & Ward, W.L. 1957. Brazos River Bar: a study of the significance of grain size parameters. *Journal Sedimentology Petroleum*: 27: 3–27.
- Haines, P.E.; Tomlinson, R.B. & Thom, B.G. 2006. Morphometric assessment of intermittently open/closed coastal lagoons in New South Wales, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67: 321–332.
- Horton, B.P. 1999. The distribution of contemporary intertidal foraminifera at Cowpen marsh, Tees estuary, UK: implications for studies of Holocene sea-level change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 149: 127–149.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. In: KJERFVE, B. (ed.). *Coastal Lagoon Processes*, Amsterdam, Elsevier Oceanographic Series, 60: 1–8.
- Lipps, J.H. & Langer, M.R. 1999. Benthic Foraminifera from the meromictic Mecherchar Jellyfish Lake, Palau (western Pacific). *Micropaleontology*, 45: 278–284.
- Loeblich, A.R. & Tappan, H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. New York Van Nostrand Reinhold, 970 p.
- Lopes, J.F.; Dias, J.M.; Cardoso, A.C. & Silva, C.I.V. 2005. The water quality of the Ria de Aveiro lagoon, Portugal: From the observations to the implementation of a numerical model. *Marine Environmental Research*, 60: 594–628.
- Martin, R. 2000. *Environmental Micropaleontology*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 481 p.
- Martins, V.; Ferreira da Silva, E.; Sequeira, C.; Rocha, F. & Duarte, A.C. 2010. Evaluation of the ecological effects of heavy metals on the assemblages of benthic foraminifera of the canals of Aveiro (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 293–304.
- Martins, V.; Yamashita, C.; Sousa, S.H.M.; Martins, P.; Laut, L.L.M.; Figueira, R.C.L.; Mahiques, M.M.; Ferreira da Silva, E., Dias, J.A.M. & Rocha, F. 2011. The response of benthic foraminifera to pollution and environmental stress in Ria de Aveiro (N Portugal). *Journal of Iberian Geology*, 37: 231–246.
- Martins, V.A.; Frontalini, F.; Tramonte, K.M.; Figueira, R.C.L.; Miranda, P.; Sequeira, C.; Fernández-Fernández, S.; Dias, J.A.; Yamashita, C.; Laut, L.M.; Sobrinho, F.; Rodrigues, M.A.; Bernardes, C.; Nagai, R.; Sousa, S.S.M.; Mahiques, M.; Rubio, B.; Bernabeu, A.; Rey, D. & Rocha, F. 2013. Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*, 70: 18–33.
- Murray, J.W. 1973. *Distribution and ecology of living benthic foraminiferids*. London, Heinemann, 274 p.
- Murray, J.W. 1991. *Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera*. London, Longman Scientific & Technical, 397 p.
- Murray, J.W. & Alve, E. 1999. Natural dissolution of shallow water benthic foraminifera: taphonomic effects on the palaeoecological record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 146: 195–209.
- Murray, J.W. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*, 41: 1–7.
- Papaspyrou, S.; Diz, P.; García-Robledo, E.; Corzo, A. & Jimenez-Arias, J.L. 2013. Benthic foraminiferal community changes and their relationship to environmental dynamics in inter tidal muddy sediments (bay of Cádiz, SW Spain). *Marine Ecology Progress Series*, 490: 121–135.
- Pastorinho, M.R., Telfer, T.C., Nogueira, A.J.A., Soares, A.M.V.M. & Ranville, J.F. 2012. An evaluation of trace metal distribution, enrichment factors and risk in sediments of a coastal lagoon (Ria de Aveiro, Portugal). *Environmental Earth Sciences*, 67: 2043–2052.
- Pereira, E.; Vale, C.; Tavares, C.F.; Válega, M. & Duarte, A.C. 2005. Mercury in Plants from Fields Surrounding a Contaminated Channel of Ria de Aveiro, Portugal. *Soil & Sediment Contamination*, 14: 571–577.
- Pereira, M.E.; Lillebø A.I.; Pato, P.; Válega, M.; Coelho, J.P.; Lopes, C.B.; Rodrigues, S.; Cachada, A.; Otero, M.; Pardal, M.A. & Duarte, A.C. 2009. Mercury pollution in Ria de Aveiro (Portugal): a review of the system assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 155: 39–49.
- Picado, A.; Dias, J.M. & Fortunato, A.B. 2010. Tidal changes in estuarine systems induced by local geomorphologic modifications. *Continental Shelf Research*, 30: 1854–1864.
- Picado, A.; Silva, P.A.; Fortunato, A.B. & Dias, J.M. 2011. Particle tracking-modelling of morphologic changes in the Ria de Aveiro. *Journal of Coastal Research*, 64: 1560–1564.
- Plecha, S.; Silva, P.A.; Vaz, N.; Xavier, B.; Oliveira, A.; Fortunato, A.B. & Dias, J.M., 2010. Sensitivity analysis of morphodynamic modelling system applied to a coastal lagoon inlet. *Ocean Dynamics*, 60: 275–284.
- Rodriguez-Lazaro, J.; Pascual, A. & Garcia, B.M. 2013. Recent benthic foraminifera as indicators of the sedimentary dynamics of the Tina Mayor and Tina Menor estuaries (S Bay of Biscay, N Spain). *Journal of Marine Systems*, 109–110 (SUPPL.): S213–S232.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Borrego, J.; Abada, M. & Pendón, J.G. 2004. Ostracoda and foraminifera as short-term tracers of environmental changes in very polluted areas: the Odiel Estuary (SW Spain). *Environmental Pollution*, 129: 49–61.
- Sen Gupta, B.K. 1999. Systematics of modern foraminifera. In: SEN GUPTA, B.K. (ed.). *Modern Foraminifera*. Dordrecht, Kluwer Academic. Publishers, p. 7–37.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379–423.
- Teixeira, S.L. 1994. *Dinâmica Morfofossedimentar da Ria de Aveiro (Portugal)*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Tese de Doutoramento, 397 p.
- Tomlinson, D.L.; Wilson, J.G.; Harris, C.R. & Jeffrey, D.W. 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunters*, 33: 566–575.
- Usera, J.; Blázquez, A.M.; Guillem, J. & Alberola, C. 2002. Biochronological and paleoenvironmental interest of foraminifera lived in restricted environments: Application to the study of the western Mediterranean Holocene. *Quaternary International*, 93: 139–147.
- Vaz, L., 2012. *Hydrodynamic study of the wave effect in the Aveiro inlet*. Environment and Planning Department, University of Aveiro, MSc Thesis, 64 p.
- Yanko, V.; Kronfeld, J. & Flexer, A. 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24: 1–17.
- Yassini, I. & Jones, B.G. 1989. Heavy metal concentrations in lagoonal saltmarsh species, Illawarra region, southeast Australia. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 14: 185–195.