CAPÍTULO	TT
CAPILOLO	

IMPACTO DA POLUIÇÃO E QUALIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA NAS ASSEMBLEIAS (TOTAIS) DE FORAMINÍFEROS –RIA DE AVEIRO, PORTUGAL

IMPACTO DA POLUIÇÃO E QUALIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA NAS ASSEMBLEIAS (TOTAIS) DE FORAMINÍFEROS - RIA DE AVEIRO, PORTUGAL

Iara Martins Matos Moreira Clemente¹, Lazaro Luiz Mattos Laut², Maria Virgínia Alves Martins^{1;3}, Frederico Sobrinho Silva⁴, Luiz Francisco Fontana⁵, Anita Fernandes de Souza Pinto¹, Paulo Miranda³, Egberto Pereira¹, João Graciano Mendonça Filho⁴ e Maria Antonieta Da Conceição Rodrigues¹

RESUMO

A Ria de Aveiro é uma laguna costeira localizada a noroeste da costa portuguesa, constituindo uma área bastante impactada por ação antrópica. Apesar das medidas adotadas, diversas indústrias da região são ainda responsáveis pelo despejo de efluentes na laguna. Objetivando a caracterização e o reconhecimento da qualidade ambiental do sedimento desta laguna, assembleias totais de foraminíferos bentônicos, distribuídos longo de 53 estações, foram correlacionadas parâmetros físico-químicos, mineralógicos (teores de pirita), granulométricos, geoquímicos (concentrações de Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, S e Zn), carbono orgânico total (COT), teores de carboidratos (CHO), lipídeos (LIP), proteínas (PTN) e total de biopolímeros (TBP). O índice de carga poluente (LPI) foi usado para identificar as zonas mais poluídas por metais considerados tóxicos (As, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn). A concentração de biopolímeros permitiu classificar a Ria de Aveiro como ambiente meso-oligotrófico a eutrófico.

As concentrações de COT, TBP, LIP, PTN e CHO, assim como a concentração de elementos traço atingiram teores máximos nos locais de baixo hidrodinamismo e em zonas de maior influência antrópica. As áreas eutróficas localizam-se na parte norte do Canal de Ovar, Largo da Coroa (maiores concentrações de Zn), Largo do Laranjo (altas concentrações de As), Cidade de Aveiro e zonas portuárias (aumento de Pb e Cu). As espécies de foraminíferos dominantes e constantes em todos os locais estudados foram Ammonia tepida e Haynesina germanica. Os resultados apresentados não discriminam grupos em função da qualidade da matéria orgânica (biopolímeros), já que esses estão principalmente associados à quantidade de COT. Entretanto, nos locais mais eutrofizados, onde são registrados os teores mais elevados de elementos traço (tóxicos). Nas zonas mais impactadas a densidade de foraminíferos reduz assim como a sua diversidade. Os resultados deste trabalho indicam que as análises das associações totais e vivas de foraminíferos respondem de forma genericamente semelhante ao stress ambiental.

Palavra chave – laguna costeira, foraminíferos, elementos traço, biopolímeros.

¹ PPG da Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracaná, CEP: 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. iarammmc@hotmail.com; tutucauerj@gmail.com; anitafspinto@gmail.com; virginia.martins@ua.pt.

² Laboratório de Micropaleontologia – LabMicro, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO. Av. Pasteur, 436, Urca, CEP: 22290-240, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. lazarolaut@hotmail.com.

³ Universidade de Aveiro, Dpto. Geociências, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal. pfnmiranda@gmail.com

⁴ Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica – LAFO, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Av. Athos da Silveira, 274 - prédio do CCMN, Campus Ilha do Fundão, CEP: 21.949-900. Rio de Janeiro, RJ, Brasil fsobrinho@gmail.com; lffontana@gmail.com.

ABSTRACT

The Ria de Aveiro, located in the northwest of the Portuguese coast, is an impacted lagoon by human action located northwest of the Portuguese coast. Despite the measures taken, several industries in the region are still responsible for the discharge of effluents in the lagoon. Aiming to characterize and to recognize the environmental quality of the sediments of this lagoon, total benthic foraminifera assemblages, distributed at 53 stations, were correlated with physicochemical, granulometric, mineralogical (pyrite content), geochemical (concentrations of Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn) parameters and biochemical data: total organic carbon content (TOC), carbohydrates (CHO), lipids (LIP), protein (PTN) and total biopolymers (TBP). The pollution load index (PLI) was used to identify the most polluted areas by toxic metals (As, Cd, Cr, Cu, Pb and Zn). The concentration of biopolymers allowed classifying the Ria de Aveiro as a meso-oligotrophic to eutrophic environment. The concentrations of TOC, TBP, LIP, PTN and CHO, as well as the trace elements reached maximum levels in low hydrodynamic sites and in the most urbanized areas. Eutrophic areas are located in the part north of Ovar Channel, Largo da Coroa (the higher concentrations of Zn), Largo do Laranjo (high concentrations of As), City of Aveiro and harbors (high Pb and Cu content). The dominant and constant species of benthic foraminifera in all the studied sites were Ammonia tepida and Haynesina germanica. These results do not discriminate groups of foraminifera according to the quality of organic matter (biopolymers), because those are mainly dependent on the amount of TOC. In the most affected areas foraminifera density reduces as well as its diversity. Results of this work suggest that the total and living assemblages of foraminifera provide generally similar answers to environmental stress.

Keywords – coastal lagoon, foraminifera, trace elements, biopolymers.

INTRODUÇÃO

Os ambientes transicionais são ecossistemas atrativos que abrigam em geral grande número e diversidade de atividades antrópicas que frequentemente alteraram a sua dinâmica e o equilíbrio naturais. Mudanças naturais, como por exemplo, oscilações climáticas, influenciam também o funcionamento e a estrutura das comunidades vivas ai existentes. Frente a uma perspectiva de "mudanças globais" torna-se necessário efetuar o diagnóstico e entender a dinâmica dos sistemas costeiros.

Os ambientes transicionais são em geral altamente produtivos. Nos seus sedimentos deposita-se matéria orgânica resultante da atividade de organismos autóctones (cadeia trófica) e da entrada de material continental. A proporção da contribuição dessas fontes é determinada por fatores abióticos locais como clima, suprimento de condições hidrodinâmicas nutrientes, ciclos nestes biogeoquímicos. Mudanças componentes, incluindo a ação antrópica, podem determinar alterações composicionais da matéria orgânica sedimentar (PINTURIER-GEISS et al., 2002).

A composição bioquímica dos sedimentos pode assim ser utilizada como um importante indicador do estado trófico dos ambientes marinhos (DELL'ANNO et al., 2002) e transitórios como deltas estuarinos assim como da proveniência da matéria orgânica ai depositada (SILVA et al., 2011). Esta análise tem sido efetuada principalmente em regiões oceânicas (PUSCEDDU et al., 2004), sendo reduzido o número de estudos desenvolvidos em áreas transicionais. As concentrações e os tipos de biopolímeros são importantes para uma avaliação ambiental, uma vez que fazem parte da produtividade primária (SILVA et al., 2013), servindo de alimento a organismos bentônicos. Dentre estes os foraminíferos além de serem importantes componentes biogênicos do sedimento, também desempenham significante papel nos ciclos biogeoquímicos (GLOCK et al., 2013).

O curto ciclo de vida destes organismos, sua resposta rápida às mudanças ambientais e a preservação das suas carapaças no sedimento, os transforma em excelentes bioindicadores ambientais (ambientes marinhos e transitórios) (MURRAY, 2001). Estes microorganismos podem ainda ser utilizados com eficiência

para diagnosticar mudanças rápidas ou de longo prazo, assim como, de pequena e grande escala espacial (ALVE, 1995). Algumas características tais como densidade, diversidade, morfologia e piritização das testas têm sido usadas como eficientes indicadores de mudanças ambientais (FRONTALINI & COCCIONI, 2008).

Área de Estudo

Este trabalho foi desenvolvido na Ria de Aveiro, uma laguna costeira rasa, situada na costa noroeste portuguesa (40°38'N, 8°45'W), ligada ao Oceano Atlântico através de uma única embocadura. Possui uma geometria bastante complexa, caracterizada por quatro canais principais e canais meandrizados de dimensões reduzidas, várias ilhas, sapais e salinas.

As características hidro/morfodinâmicas da Ria de Aveiro são influenciadas principalmente por marés oceânicas que se propagam de sul para norte através do canal de embocadura (DIAS et al., 1999). Interferem também no hidrodinamismo desta laguna os rios (Vouga, Antuã, Boco, Caster, Gonde e Fontela) que nela desembocam, os ventos e fatores antropogênicos como as obras costeiro-portuárias (DIAS, 2009).

Com uma formação recente e evolução rápida, a Ria de Aveiro é uma zona sensível, alvo de vários tipos de pressão e muito influenciada pela ação humana (DIAS & MARIANO, 2011). O crescimento populacional desorganizado, as necessidades em produtos agrícolas, a produção mineralógica e o elevado desenvolvimento industrial, principalmente das indústrias químicas, têm criado problemas de poluição (PEREIRA et al., 2005; 2009). A ação antropogênica afetou a qualidade da água e promoveu a deposição de sedimentos contaminados no fundo dos canais da Ria de Aveiro (MARTINS et al., 2010, 2011, 2013, 2014, 2015; PASTORINHO et al., 2012).

Objetivo do trabalho

Com o intuito de distinguir as mudanças naturais das que foram geradas por influência antrópica, este estudo tem como objetivo caracterizar ambientalmente a Ria de Aveiro (Portugal), com base nas assembleias totais (mortos e vivos) de foraminíferos relacionando-os a vários parâmetros físico-químicos e sedimentológicos. Pretendese também verificar se ocorre um padrão semelhante de resposta da assembleia total e viva estudada por Martins et al. (2015). Esta comparação inspira-se nas recomendações e na metodologia proposta por Schönfeld et al. (2012), que privilegia a análise da associação viva em estudos de monitorização ambiental. Porém tem-se aplicado tradicionalmente as análises das associações totais na avaliação ambiental dos sistemas costeiros, de acordo com a metodologia estabelecida por Boltovskoy (1965).

MATERIAL E MÉTODOS

Em Julho de 2011 foram coletadas 53 amostras de sedimento de fundo, distribuídas na zona intertidal de canais da Ria de Aveiro (Fig. 1), tendo sido selecionados tanto quanto possível, locais abrigados da ação energética das correntes tidais. Optou-se por este procedimento considerando-se que nas zonas mais hidrodinâmicas da Ria de Aveiro a abundância de foraminíferos é muito reduzida, como revelaram resultados obtidos em trabalhos anteriores (Martins et al., 2013; 2014). Para a coleta de sedimentos foi utilizado uma draga do tipo Petit-Ponar aberta nas extremidades superior e inferior. Em cada local de amostragem, foi recolhido o primeiro centímetro de sedimento superficial com uma espátula. Os sedimentos recolhidos destinaram-se a análises granulométricas, biogeoquímicas (COT, concentrações de elementos químicos e biopolímeros), e mineralógicas cuja metodologia e análise se encontra descrita em Martins et al. (2015).

Os locais de amostragem foram georreferenciados com um *Global Positioning System* (GPS). A profundidade da coluna de água foi determinada com um ecobatímetro. Em cada local de amostragem foram efetuadas medições e registros de temperatura e de salinidade, na água, e de pH e Eh, no sedimento.

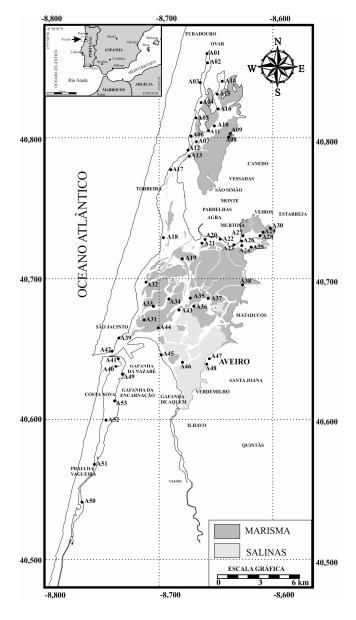


Figura 1 – Mapa de Localização das Amostras na Ria de Aveiro, Portugal.

Em cada local de amostragem foram também coletados sedimentos para a análise microfaunal (foraminíferos). A metodologia usada no presente trabalho para o estudo dos foraminíferos foi diferente da que foi aplicada em Martins et al. (2015). Como referido, enquanto aqueles autores basearam as suas análises nas assembleias vivas de foraminíferos, este trabalho analisa as assembleias totais (vivos + mortos) encontrados em cada estação de amostragem, e aplica a metodologia descrita em Boltovskoy (1965).

Para a análise da fauna total de foraminíferos foram reservados 50 ml de sedimentos em cada estação de amostragem, os quais foram corados com rosa de Bengala e preservados em etanol (70%). O processamento da análise das assembleias de foraminíferos em laboratório consistiu em passar o sedimento a úmido pelas peneiras de 500 µm e 63 µm, descartando-se as frações acima e abaixo deste intervalo. As amostras sedimentares (do intervalo 500-63 µm) foram secas em estufa sob temperatura de 50°C e os foraminíferos foram separados do sedimento por flotação em tricloroetileno (C₂HCl₃). sobrenadante material foi examinado estereomicroscópico.

A identificação taxonômica supraespecífica foi realizada com base em Loeblich & Tappan (1988). A designação das espécies foi também baseada na nomenclatura apresentada no Worms (http://www.marinespecies.org/).

A densidade de foraminíferos (n.º/ 50 ml) foi estimada considerando-se um volume de sedimento de 50 ml. Em todas as amostras foi encontrado um número de espécimes superior a 100 exemplares, o que pode ser considerado adequado para a realização de análises estatísticas (FATELA & TABORDA, 2002).

Análise Estatística

Com base nos dados da matriz de dados biológicos foi determinada, em cada estação, a abundância relativa das espécies, a riqueza específica (n.º de espécies/local), índice de Shannon (H=∑piLnpi), como medida de diversidade (SHANNON, 1948) e equitatilidade (J=H/InS).

Os dados bióticos obtidos neste trabalho foram submetidos a análises multivariadas, em conjunto com uma seleção de dados abióticos obtidos por Martins et al. (2015) e considerados significativos no contexto deste estudo.

Na análise estatística foram consideradas as espécies presentes em pelo menos 10 % das estações amostradas e com uma abundância relativa superior a 3%. Os dados bióticos e abióticos foram normalizados (elevados à potência de 0,5) a fim de se obter resultados estatísticos mais coerentes.

Como técnica multivariada foi realizada uma análise de agrupamento em modo - R no Software Pcord5 usando-se distância Euclidiana e o método de Ward de ligação, aplicado a todos os parâmetros analisados neste trabalho.

As análises em DCA (Detrended Correspondece Analysis) no software PCord 5 basearam-se numa matriz de percentagem normalizada das espécies selecionadas, objetivando identificar quais dos parâmetros ambientais analisados têm mais influência na sua distribuição nos locais estudados.

RESULTADOS

Durante o período em que ocorreu a amostragem, os valores de temperatura e salinidade da água variaram entre 26-10°C e 33.7-12.5, e os de pH e Eh no sedimento das estações amostradas entre 4.2-8.9 e -72 mV e 134 mV, respectivamente. Os maiores valores de salinidade foram registrados próximo ao canal de conexão da laguna com o oceano. Registrou-se, entretanto, um decréscimo geral de salinidade e do pH na zona interna da Ria de Aveiro, próximo da desembocadura dos rios. Os menores valores destes parâmetros foram encontrados junto à desembocadura do Rio Vouga (A38). Valores de substancialmente reduzidos foram detectados também em algumas zonas portuárias localizadas no setor externo da laguna. A distribuição de temperatura exibiu uma tendência inversa á da salinidade, tendo sido os valores mais baixos identificados junto á embocadura e os mais elevados nas zonas mais internas da laguna. Os valores mais elevados de Eh ocorreram nas zonas mais hidrodinâmicas, onde o sedimento tende a ser mais arenoso.

Nos locais estudados, os sedimentos apresentaram uma dimensão média que variou entre 18-358 μm, possuindo um teor em finos entre 1-90%. A distribuição da fração sedimentar lamosa revela que a granulometria do sedimento nos locais estudados, apesar de heterogênea tende a ter um conteúdo em finos significativo, na maior parte dos locais estudados, uma vez que foram selecionados, sobretudo locais abrigados para a amostragem.

Os teores de carbono orgânico total (COT; 0,1-7,4 %), carboidratos (CHO; 0-5,3,2 µg C/g), lipídeos (LIP; 0,1-3,6 µg C/g), proteínas (PTN; 0,2-5,1 µg C/g) e total de biopolímeros (TBP; 0,3-11,2 µg C/g) ocorrem nas zonas mais internas da Ria de Aveiro, tendo-se encontrado os teores máximos de COT nos canais da

cidade de Aveiro, de CHO na extremidade norte do canal de Ovar, de LIP sobretudo no Largo do Laranjo e na Cidade de Aveiro e de PTN na zona interna do canal da Murtosa e na área sob a influência do Rio Vouga. Os valores máximos de TBP foram encontrados na zona interna do Canal de Ovar, do Canal da Murtosa e nos canais da Cidade de Aveiro.

A variação da concentração de Al (3,4-9 %), As (12-81 mg/kg), Cd (0.1-4,1 mg/kg), Cr (40-76 mg/kg), Cu (14-91 mg/kg), Pb (21-100 mg/kg), S (0,5-1,6 %) e Zn (69-684 mg/kg) e os teores de pirita (0,6-4,6 %) revelam mudanças significativas na composição dos sedimentos nos locais estudados. As concentrações de As são baixas em geral na Ria de Aveiro, mas atingem valores relativamente elevados na zona interna do canal da Murtosa (Fig. 2). As concentrações de Cu elevam-se, sobretudo nos canais da Cidade de Aveiro e na zona portuária, assim como os de Pb, que também são relativamente elevados no canal do Espinheiro (Fig. 2). As concentrações de Zn são relativamente elevadas por toda a laguna, porém aumenta significativamente na extremidade norte do Canal de Ovar (Fig. 2). Os teores de enxofre e de pirita apresentam um padrão de distribuição geral idêntico atingindo valores relativamente elevados nos locais mais confinados.

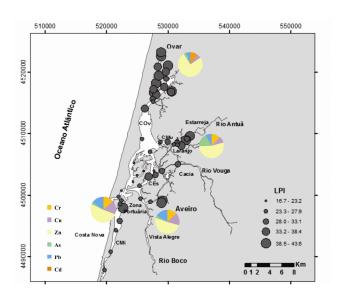


Figura 2 – Mapa de distribuição dos valores de LPI na Ria de Aveiro e diagramas de proporção de elementos químicos potencialmente poluentes em áreas selecionadas da laguna.

O índice de carga poluente (LPI), determinado por Martins et al. (2005), apresentou valores muito variados, oscilando entre 16,5 e 43,6. O mapa de distribuição deste índice mostra um padrão com valores mais elevados nas extremidades internas do Canal de Ovar, do Canal da Murtosa, da Cidade de Aveiro e na zona portuária próxima da embocadura da laguna (Fig. 2).

Resultados Bióticos

A densidade total de foraminíferos variou entre 100-2700 exemplares por 50 ml de sedimento (Fig. 3). Os valores da riqueza específica, do índice de Shannon e da equitatilidade variaram entre 5-30, 0,4-3,1 e 0,3-0,9, respectivamente. O mapa de distribuição dos dados do índice de Shannon mostra uma tendência nítida de aumento nos locais próximos da embocadura (Fig. 3).

Foram identificadas 65 espécies de foraminíferos, sendo as mais constantes Ammonia tepida (7-91 %) e Haynesina germanica (2-54%) que estão presentes em todas as amostras. Para além destas, as espécies/taxa que atingem uma percentagem superior a 2% em pelo menos um local e que estão presentes em pelo menos 10 % dos locais são, por ordem decrescente de abundância relativa Milliamina fusca (<69%), Planorbulina mediterranensis (<41%), Trochammina inflata (<40%), Quinqueloculina seminula (<35%), Ammonia parkinsoniana (<27%), Elphidium margaritaceum (<25%), Lepidodeuterammina ochracea (<24%), Cibicides ungerianus/Lobatula lobatula (<19%), Elphidium excavatum (<12%), Arenoparrella mexicana (<10%), Bolivina ordinaria (<9%), Bolivina pseudoplicata (<9%), Remaneica helgolandica (<7%), Entzia macrescens (<7%), Eggerelloides scaber (<6%), Septotrochammina gonzalezi (<6%),Bulimina elongata/Bulimina gibba (6%), Elphidium gerthi (<5%),

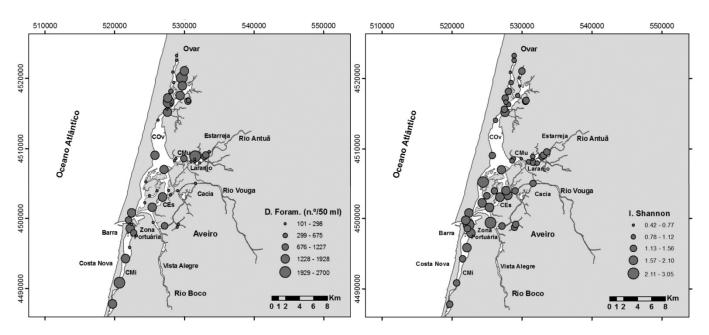


Figura 3 – Mapas de distribuição da densidade e da diversidade da fauna total nos locais estudados na Ria de Aveiro.

Tiphotrocha concava (<5%), Elphidium williamsoni (<3%), Tiphotrocha comprimata (<3%) e Buliminella elegantissima (<2%). Algumas destas espécies ou grupos de espécies apresentam valores baixos por toda a Ria de Aveiro apenas aumentando pontualmente, como é o caso de A. parkinsoniana e B. pseudoplicata (máximo na cidade de Aveiro), M. fusca e T. comprimata (máximo na zona de influência do Rio Vouga), P. mediterramensis, L. ochracea, S. gonzalezi, T. concava, B. elegantissima (máximo próximo da embocadura), E. macrescens, A. mexicana em zonas intermareais lamosas, R. helgolandica próximo da embocadura, E. scaber (máximo no canal de Ovar).

Ammonia tepida (Fig. 4) e E. excavatum apresentam um padrão centrífugo em relação à embocadura da Ria de Aveiro, atingindo valores de abundância relativa mais elevados na zona interna da laguna. H. germanica tanto atinge valores elevados nas zonas internas quanto nas externas da laguna. T. inflata aumenta em locais associados a zonas de sapal (Fig. 4). Q. seminula apresenta abundâncias relativas mais elevadas, sobretudo ao longo do Canal de Mira, E. margaritaceum próximo da embocadura, C. ungerianus/L. lobatula, E. gerthi, B. elongata/B. gibba (Fig. 4), E. willinasoni em zonas com influência marinha, próximas da barra de Aveiro e B. ordinaria em zonas portuárias confinadas, próximas da abertura da laguna (Fig. 4).

Resultados estatísticos

Os resultados da análise de classificação em modo R representados no dendrograma da Figura 5, permitem separar dois grandes grupos de variáveis (1 e 2), associados a granulometria diferenciadas dos sedimentos O grupo 1 é constituído pelas seguintes variáveis: S, pirita, LPI, COT, lipídeos, carboidratos, proteínas, total biopolímeros, finos, Al, E. excavatum, parkinsoniana, A. tepida. No grupo 2 (relacionado com sedimentos de maior dimensão) podem ser considerados dois subgrupos (2.1 e 2.2). O Subgrupo 2.1 é composto pelas seguintes variáveis: densidade de foraminíferos, H. germanica, areia, Q. seminula, L. ochracea, C. ungerianus/ L. lobatula, índice de Shannon, equitatilidade, P. mediterramensis, E. gerthi, E. margaritaceum, E. williamsoni, B. ordinaria, B. elongata/B. gibba, B. pseudoplicata, B. elegantissima, R. helgolandica, T. concava e S. gonzalezi. O Subgrupo 2.2 integra as espécies M. fusca, T. inflata, E. macrescens, E. scaber, T. comprimata e A. mexicana (Fig. 5)

A análise de agrupamento em DCA apresentou coeficientes de determinação das correlações entre as distâncias igual a 52% no eixo 1 e 18% no eixo 2 (Fig. 6). As associações de foraminíferos das estações situadas no quadrante 1 do DCA (31, 32, 33, 34, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 49 e 52) caracterizadas por maior riqueza específica, diversidade de espécies e equitatilidade, estão vinculadas sobretudo à salinidade e a teores mais elevados de areia. As faunas das estações situadas no quadrante 2 (8, 9, 12, 15, 25, 26, 28, 29, 30, 35, 37, 38 e 50), localizam-se nas extremidades internas de vários canais, estão subordinadas ao As. As associações de foraminíferos encontradas nas estações do quadrante 3 (1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 27, 47, 48 e 51), localizadas na sua grande maioria nas zonas mais internas dos canais de Ovar, da Murtosa e da cidade de Aveiro, estão relacionadas às proteínas, COT, carboidratos, LPI, finos, Cu, lipídeos, pirita, Cr e Zn. As espécies e a densidade de foraminíferos das estações do quadrante 4 (5, 7, 13, 14, 18, 19, 20, 46 e 53) estão associados ao Al.

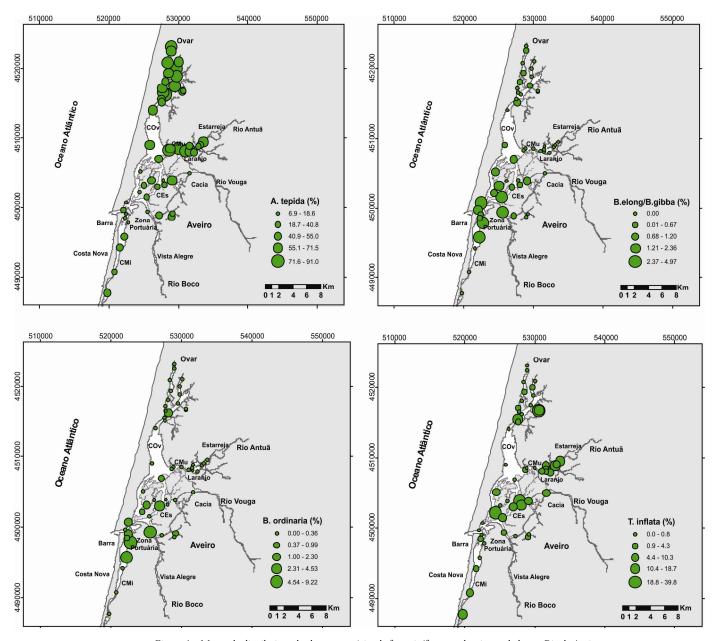


Figura 4 – Mapas de distribuição de algumas espécies de foraminíferos nos locais estudados na Ria de Aveiro.

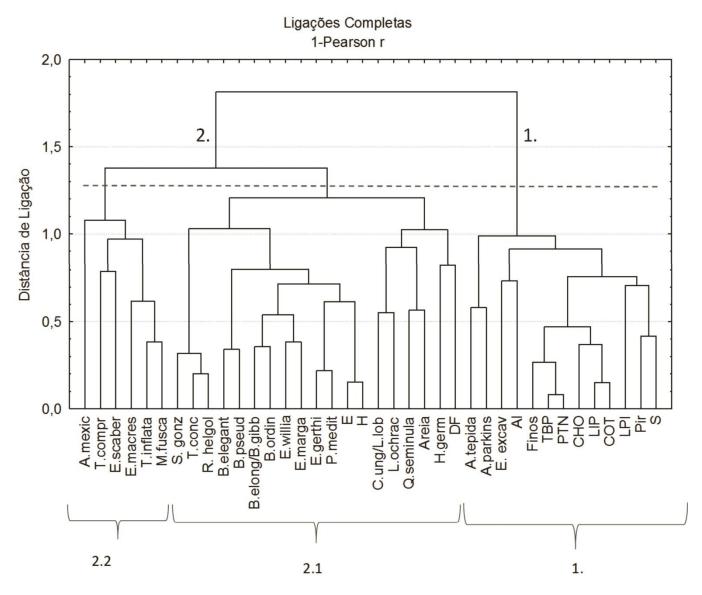


Figura 5 – Dendrograma de uma seleção de fatores abióticos e bióticos analisados neste trabalho.



Figura 5 – Dendrograma de uma seleção de fatores abióticos e bióticos analisados neste trabalho.

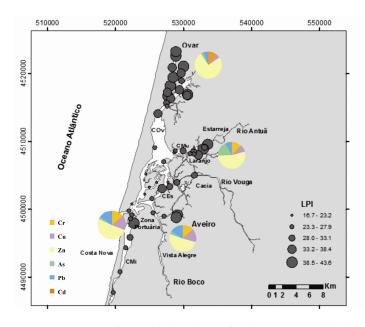


Figura 6 – DCA indicativa da relação da microfauna bentônica em cada local de amostragem com os fatores abióticos na Ria de Aveiro.

DISCUSSÃO

Os maiores valores de salinidade observados registram-se próximo ao canal da embocadura, tendo-se verificado um decréscimo geral na zona interna da Ria de Aveiro, próximo da foz dos rios. A variação de salinidade observada neste estudo está relacionada com as correntes de maré que penetram na laguna através da Barra de Aveiro e são a principal força que controla a circulação de água dentro da laguna (DIAS et al., 1999). Além disso, a laguna também recebe água doce, de vários rios e riachos, mas principalmente dos rios Vouga e Antuã (MOREIRA et al., 1993). Os valores de distribuição de temperatura registraram uma tendência inversa á da salinidade, sendo os valores mais baixos medidos junto á embocadura, nas zonas mais profundas e mais influenciadas pelas águas oceânicas, que nesta altura do ano são afetadas por eventos de ressurgência costeira (PELIZ et al., 2002).

Os valores de pH apresentam um padrão geral de redução idêntico ao da salinidade. Em algumas zonas portuárias, localizadas no setor externo da laguna, também foram medidos valores de pH substancialmente reduzidos, causados provavelmente pelo aporte de óleo, proveniente dos navios. Porém na zona mais interna do Canal de Ovar, registraram-se valores relativamente elevados de pH. Estes podem ser uma consequência do lançamento de efluentes domésticos ricos em detergentes.

Os valores mais elevados de Eh ocorrem nas zonas mais hidrodinâmicas, onde o sedimento tende a ser mais arenoso e pobre em matéria orgânica. Este fato também pode estar relacionado á eficiência do comportamento hidrodinâmico da área estudada que foi descrita e discutida por alguns autores que a correlacionam com a variação de temperatura, salinidade e distribuição do sedimento (DIAS et al., 1999; DIAS, 2009; MARTINS et al, 2013).

Resultados granulométricos semelhantes aos observados neste estudo foram encontrados por alguns autores (LOPES et al., 2005; MARTINS et al., 2014), que descreveram os sedimentos variando desde argila a areia grossa. A distribuição da fração sedimentar de finos demonstrou que a granulometria do sedimento apesar de heterogênea tende a ter um conteúdo significativo de finos, na maior parte dos locais estudados, uma vez que estes se situam em zonas intermariais abrigadas. Porém, as zonas com sedimentos mais finos localizam-se nas zonas

internas da Ria de Aveiro e, em geral, nas áreas mais confinadas. Estas zonas são caracterizadas também por concentrações relativamente mais elevadas de Al, as quais estão essencialmente associadas à ocorrência de filossilicatos, minerais mais abundantes em geral em sedimentos lamosos (MARTINS et al., 2013, 2014).

Próximo do canal da embocadura, as velocidades das correntes de maré podem ser superiores a 1m s⁻¹, e vão diminuindo na porção mais interna da laguna e nas planícies de maré (DIAS et al., 1999). As correntes assimétricas, resultantes da complexa morfologia da Ria de Aveiro, são os fatores responsáveis pelo transporte e deposição de sedimentos ao longo da rede de canais e das planícies lamosas (LOPES et al., 2005).

As variações na distribuição do carbono orgânico total (COT), do total de biopolímeros (TBP) e da concentração de vários componentes da matéria orgânica (LIP, PTN e CHO), permitiram verificar que os teores máximos ocorrem em locais de baixo hidrodinamismo e em zonas de maior influência antrópica. As áreas de maior acumulação de matéria orgânica estão associadas a valores mais elevados de pirita e S, traduzindo a ocorrência de alterações diagenéticas em ambiente anóxico (MARTINS et al., 2015). Os níveis de anoxia, no sedimento, ocorrem frequentemente alguns milímetros abaixo do contato água-sedimento.

Os valores mais elevados da concentração de PTN foram encontrados em zonas internas da Ria de Aveiro. Estes podem estar relacionados com efluentes urbanos e industriais, uma vez que são áreas densamente povoadas, com baixa infraestrutura, e altamente industrializadas. Nela também acontecem intensas atividades agropecuárias. Segundo Cotano & Villate (2006), as altas concentrações de proteínas e lipídeos podem ser associados à origem antrópica da matéria orgânica.

A maior concentração de lipídeos ocorre também nas zonas internas da Ria de Aveiro, como por exemplo, no Canal da Murtosa e de Ovar e em canais da Cidade de Aveiro. Podem estar relacionados com aporte de matéria orgânica de origem continental (restos de plantas em lignina) efluentes vasculares ricos e a industriais/urbanos. Segundo Pinturier-Geiss et al. (2002), os lipídios tendem a se preservar melhor em condições anóxicas, o que está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho. Entretanto, os maiores valores de carboidratos foram observados no interior do canal de Ovar e no Largo da Coroa (no Cais do Pardilhó), numa zona de marismas, sugerindo uma possível contribuição detrítica, resultante da vegetação local, numa área confinada.

De acordo com a classificação de Pusceddu et al. (1999) e Dell'Anno et al. (2002), as zonas internas do canal de Ovar, largo da Coroa, canal da Murtosa, canais da Cidade de Aveiro, desembocadura do Rio Vouga e áreas portuárias localizadas próximo da Barra de Aveiro, mais confinadas, são eutróficas. Nestas zonas, os sedimentos de fundo funcionam como armadilha natural para a matéria orgânica, facilitando a sua acumulação. Os processos intensos de degradação da matéria orgânica dão lugar à redução da taxa de oxigênio das águas de fundo e do substrato (FABIANO et al., 1995; SILVA et al., 2013). De acordo com a referida classificação os restantes locais estudados podem ser considerados como ambientes meso-oligotróficos.

Durante as últimas décadas, a maioria dos estuários e águas costeiras mudaram de ecossistemas equilibrados e produtivos, devido a transformações biogeoquímicas acentuadas causadas pelo efeito antropogênico, e passaram a apresentar alterações tróficas repentinas e uma deterioração da qualidade do habitat (LOPES & SILVA, 2006). A acumulação de teores elevados de matéria orgânica e consequente redução da oxigenação da água e do sedimento e a contaminação por metais pesados elevam o grau de estresse ambiental para os organismos que habitam estas áreas costeiras.

Segundo o estudo desenvolvido por Martins et al. (2015) a maior parte do sedimento da laguna não está poluído, com exceção de algumas zonas, onde níveis de zinco atingem os valores mais elevados em relação a outros metais pesados considerados tóxicos. Os valores do fator de enriquecimento, LPI (Fig. 2), relacionados com teores mais elevados de contaminantes, verificam-se nas mesmas zonas onde ocorre, em geral, maior acumulação de matéria orgânica (dendrograma da Fig. 5 e o DCA da Fig. 6). Nas demais áreas, os valores de LPI são baixos (Fig. 2), pois apesar dos rios serem fontes pontuais de contaminação, a forte hidrodinâmica redistribui o sedimento e promove um efeito de diluição da poluição. Os pontos de maior potencial de risco para biota seriam os locais mais próximos à desembocadura dos rios.

Contudo, os resultados agora obtidos revelam diferenças substanciais na distribuição dos teores de Zn,

Cu e Pb, assim como de As. Os teores mais elevados de: i) Zn foram encontrados no Canal de Ovar e Largo da Coroa; ii) Pb em canais da Cidade de Aveiro, associados à atividade industrial num passado recente (Martins et al., 2010); iii) Cu ocorrem em sedimentos da Cidade de Aveiro e na Zona Portuária; iv) As foram registrados no Canal da Murtosa e estão associados á atividade do Complexo Químico de Estarreja (MARTINS et al., 2013).

Concentrações elevadas de elementos químicos tóxicos podem gerar efeitos adversos nos organismos aquáticos (MARTINS et al., 2010), influenciando diretamente ou indiretamente no seu padrão de distribuição (BOLTOVSKOY, 1965; HANNAH & ROGERSON, 1997; EICHLER et al. 2006).

A composição da assembleia total de foraminíferos da Ria de Aveiro é constituída por espécies euritérmicas e eurialinas, que possuem uma grande tolerância à variação de temperatura e salinidade (MURRAY, 2001; MARTINS et al., 2013; 2014; 2015). Comumente a distribuição destes organismos dentro de um ambiente estuarino/lagunar é diretamente influenciada pelas marés e pelos rios (YASSINI & JONES, 1995). A distribuição destes parâmetros físico-químicos varia na laguna ao longo do dia (Dias et al., 2011).

As grandes variações dos referidos parâmetros induzem a colonização de espécies de foraminíferos tolerantes ao *stress* ambiental e que também são capazes de viver em meios eutróficos, suportando redução significativa dos teores de oxigênio no sedimento. Esse fato pode explicar a redução da densidade e diversidade de foraminíferos em algumas áreas, como sugerem os resultados estatísticos (Figs. 5 e 6).

As espécies de foraminíferos mais constantes foram *Ammonia tepida* e *Haynesina germanica* que estão presentes em todas as amostras. Estas espécies possuem caráter oportunista adaptando-se a condições ambientais muito diversificadas, como observado também por Martins et al. (2010; 2013; 2014; 2015).

Os dados do índice de *Shannon* mostram uma tendência nítida, de aumento, nos locais próximos da embocadura onde o aporte de água oceânica e sua renovação são mais intensos. Os valores mais baixos de diversidade estão relacionados às marinas, locais onde ocorre uma grande variação nos parâmetros ambientais limitando a sobrevivência destes organismos.

Nas águas onde a salinidade é um pouco mais baixa que a marinha, as associações de foraminíferos tendem a ser constituídas essencialmente por espécimes calcários hialinos como *Ammonia spp., Elphidium spp.* e *Haynesina spp.*. No entanto em baixas salinidades os aglutinantes como *Trochammina spp. e Jadammina spp.* aumentam a sua representatividade (MARTINS et al., 2014; 2015). É o caso de *Trochammina inflata* e *Miliamina fusca*. Estas espécies estão nitidamente associadas a áreas mais internas, próximas do aporte de água doce, onde ocorre variação de salinidade e/ou em ambientes onde ocorre uma redução do pH, já que a diminuição deste fator pode causar dissolução das carapaças de espécies calcárias.

Em áreas submetidas à forte influência das marés aumenta a abundância de *Quinqueloculina seminula*. A presença da espécie marinha *B. ordinária*, em locais com elevados teores de matéria orgânica e pobres em oxigênio, é explicada pelo comportamento oportunista desta espécie.

Os resultados apresentados no dendrograma da figura 5, não discriminam diferentes grupos de espécies em função da qualidade da matéria orgânica, ou seja, da maior concentração de lipídeos, proteínas e carboidratos. Isto se deve ao fato dos teores destes constituintes estarem subordinados principalmente à quantidade total de matéria orgânica, na área de estudo. Porém Martins et al. (2015) analisando razões de biopolímeros identificaram a ocorrência de algumas espécies em ambientes com enriquecimento diferenciado.

Assim, nos locais eutrofizados, a associação de foraminíferos é constituída, sobretudo por espécies oportunistas como, por exemplo, *A. tepida, A. parkinsoniana* e *E. excavatum*. Cumulativamente, estas espécies parecem ser tolerantes a outras variáveis causadoras de estresse ambiental, como por exemplo, baixa oxigenação do sedimento e acumulação de metais pesados (grupo I do dendrograma da Fig. 5). Estas espécies tendem a ocorrer com maior frequência relativa nas estações assinalas no quadrante III do DCA da figura 6

As demais espécies (grupo II do dendrograma da Fig. 5) ocorrem, em geral, em locais que estão sujeitos a uma forte influência oceânica, que gera maior renovação da água, consequentemente, sedimentos mais oxigenados e menos impactados por matéria orgânica e metais pesados (estações do quadrante 1 do DCA da Fig. 6).

Estas zonas caracterizam-se por uma maior diversidade e equitabilidade de espécies, enquanto nas áreas mais impactadas e internas da Ria de Aveiro, a densidade e diversidade de foraminíferos decaem. Estes resultados estão genericamente de acordo com os observados por Martins et al. (2015), o que significa que, pelo menos na maioria dos locais estudados, a associação total (foraminíferos vivos+mortos) poderá refletir a composição e estrutura da associação viva.

CONCLUSÃO

Os parâmetros abióticos analisados neste trabalho mostram uma forte relação com a dinâmica lagunar, que está subordinada à influência das marés e à contribuição dos rios. A influência dos rios traduz-se não só pela introdução de água doce, mas de sedimentos finos siliciclásticos e matéria orgânica, além de material de origem antropogênica. A circulação restrita das zonas internas e nas áreas portuárias da Ria de Aveiro favorece a acumulação de matéria orgânica e de poluentes. As concentrações de biopolímeros apesar de estarem largamente subordinados aos teores da matéria orgânica apresentam padrões de distribuição que evidenciam também a contribuições antrópicas distintas. Nas zonas mais confinadas, sujeitas a eutrofização e ao impacto dos metais pesados, a diversidade de foraminíferos se reduz, dando lugar à ocorrência apenas de algumas espécies Enquanto oportunistas. nas zonas hidrodinâmica situadas próximo da embocadura da laguna, a diversidade e equitatilidade das associações são maiores.

Verifica-se, assim, um padrão de distribuição das assembleias de foraminíferos bentônicos influenciado pelo comportamento hidrodinâmico da ria, assim como pela ação antropogênica. Esta se reflete tanto na quantidade como na distribuição de metais pesados quanto de biopolímeros.

Os resultados estatísticos obtidos neste trabalho (baseados nas associações totais de foraminíferos) são genericamente semelhantes aos baseados na associação viva.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo recurso financeiro fornecido pelo projeto: Bioestratigrafia, Ecologia e Paleoecologia de Foraminíferos dos sistemas lagunares de Sepetiba (Brasil) e Aveiro (Portugal) - (processo 401803/2010) aprovado segundo o Edital 32/2010. Este trabalho recebeu também o contributo financeiro do projeto PEst-OE/CTE/UI4035/2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVE, E. 1995. Benthic foraminifera response to estuarine pollution. A review. *Journal of Foraminiferal Research*, 25: 190–203.
- BOLTOVSKOY, E. 1965. Los Foraminíferos Recientes: Biología, Métodos de Estudio y Aplicación Oceanográfica. Editora Universitaria de Buenos Aires, 509 p.
- COTANO, U. & VILLATE, F. 2006. Anthropogenic influence on the organic fraction of sediments in two contrasting estuaries: A Biochemical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 404-414.
- DELL'ANNO, A., MEI, M.L., PUSCEDDU, A. & DANOVARO, R. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 611-622.
- 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.
- DIAS, J.M., LOPES, J.F. & DEKEYSER, I. 1999. Hydrological characterization of the Ria de Aveiro, Portugal in early Summer. *Oceanologica Acta*, 22: 473-495.
- DIAS, J.M. 2009. Hidro/morfologia da Ria de Aveiro: alterações de origem antropogênica e natural. *Debater a Europa*, 1: 99-121.
- EICHLER, P.P.B., CASTELÁO, G.P., PIMENTA, F.M. & EICHLER, B.B. 2006. Avaliação da Saúde Ecológica do Sistema Estuarino de Laguna (SC) Baseado nas Espécies de Foraminíferos e Tecamebas. *Pesquisas em Geociências*, 33: 101-115.

- FABIANO, M., DANOVARO, R. & FRASCHETTI, S. 1995. Temporal trend analysis of the elemental composition of the sediment organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (NW Mediterranean): a three years study. *Continental Shelf Research*, 15: 1453–1469.
- FATELA, F. & TABORDA, R. 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45:169–174.
- FRONTALINI, F. & COCCIONI, R. 2008. Benthic foraminifera for heavy metal pollution monitoring: a case study from the central Adriatic Sea coast of Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76: 404–417.
- GLOCK, N., SCHÖNFELD, J., EISENHAUER, A., HENSEN, C., MALLON, J. & SOMMER, S. 2013. The role of benthic foraminifera in the benthic nitrogen cycle of the Peruvian oxygen minimum zone. *Biogeosciences*: 10, 4767-4783.
- HANNAH, F. & ROGERSON, A. 1997. The temporal and spatial distribution of foraminiferans in marine benthic sediments of the Clyde Sea Area, Scotland. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 44: 377-393.
- LOEBLICH, A.R.JR. & TAPPAN, H. 1988. Foraminiferal Genera and Their Classification. Van Nostrand Reinhold Company, New Yor, 212 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.
- LOPES, J. F. & SILVA, C. 2006. Temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in the Ria de Aveiro lagoon. *Ecological Modelling*, 97: 67-88.
- MARTINS, M.V.A., SILVA, F.S., LAUT, L.L.M., FRONTALINI, F., CLEMENTE, I.M.M.M., MIRANDA, P., FIGUEIRA,R., SOUSA, S.H.M. & DIAS, J.A. 2015. Response of Benthic Foraminifera to Organic Matter Quantity and Quality and Bioavailable Concentrations of Metals in Aveiro Lagoon (Portugal). PLOSONE, PONE-D. 14: 1-23.
- MARTINS, M.V. A., FRONTALINI, F., LAUT, L.M., SILVA, F. S., MORENO, J., SOUSA, S., ZAABOUB, N., EL BOUR, M. & ROCHA, F. 2014. Foraminiferal Biotopes and their Distribution

- Control in Ria de Aveiro (Portugal): a multiproxy approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 12: 8875-97.
- 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.
- 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.M. A. & ROCHA, F. 2011. The response of benthic foraminifera to pollution and environmental stress in Ria de Aveiro (N Portugal). *Journal of Iberian Geology*, 37(2): 231-246.
- 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.
- MOREIRA, M.H., QUEIROGA, H., MACHADO, M.M. & CUNHA, M.R. 1993. Environmental gradients in a southern estuarine system: Ria de Aveiro, Portugal, Implications for soft bottom macrofauna colonization. *Neth. J. Aquat. Ecol.*, 27: 465–482.
- MURRAY, J.W. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*, 41: 1–7.
- 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.
- PELIZ, Á., ROSA, T. L., MIGUEL, A., SANTOS, P. & PISSARRA, J. L. 2002. Fronts, jets, and counterflows in the Western Iberian upwelling system. *Journal of Marine Systems*, 35(1-2): 61-77.

- PEREIRA, M.E., LILLEBO 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.
- 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.
- PINTURIER-GEISS, L., MEJANELLE, L., DALE, B. & KARLSEN, D. A. 2002. Lipids as indicators of eutrophication in marine coastal sediments. *Journal of Microbiological Methods*, 48: 239-257.
- PUSCEDDU, A., DELL'ANNO, A., FABIANO, M. & DANOVARO, R. 2004. Quantity and biochemical composition of organic matter in marine sediments. *Biologia Marina Mediterranea*, 11: 39-53.
- PUSCEDDU, A., SARA, G., ARMENI, M., FABIANO, M. & MAZZOLA, A.1999. Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, 397: 59-70.
- SCHÖNFELD, J.; ALVE, E.; GESLIN, E.; JORISSEN, KORSUN, SPEZZAFERRI, F.; S.; ABRAMOVICH, S.; ALMOGI-LABIN, A.; DU CHATELET, E. A.; BARRAS, C.; BERGAMIN, L.; BICCHI, E.; BOUCHET, V.; CEARRETA, A.; DI BELLA, L.; DIJKSTRA, N.; DISARO, S. T.; FERRARO, L.; FRONTALINI, F.; GENNARI, G.; GOLIKOVA, E.; HAYNERT, K.; HESS, S.; HUSUM, K.; MARTINS, V.; MCGANN, M.; ORON, S.; ROMANO, E.; SOUSA, S. M.; TSUJIMOTO, A. 2012. The **FOBIMO** (FOraminiferal Bio-MOnitoring) initiative towards a formalised protocol for benthic foraminiferal monitoring studies. Marine Micropaleontology, 94: 1–13.
- SHANNON, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423.
- 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. (Org.). *Interação Homem-Meio nas zonas costeiras: Brasil/Portugal.*Rio de Janeiro, Corbá 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-UFRJ*, 34(1): 33-45.
- YASSINI, I. & JONES, B. G. 1995. Foraminiferida and ostracoda from estuarine and shelf environments on the southeastern coast of Australia. Wollong, N. S. W (Ed.), The University os Wollongong Press, Australia, 484 pp.