

AValiação de Impactes Antrópicos na Zona Costeira Portuguesa

M. Fátima Araújo¹ & J.M. Alveirinho Dias²

RESUMO

Estudaram-se sedimentos de superfície amostrados na plataforma continental portuguesa, em particular nos depósitos lodosos localizados em frente aos estuários dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana, que drenam regiões com características distintas e se distribuem ao longo da zona costeira portuguesa. A caracterização química foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X, dispersiva de energia, o que permitiu a determinação de cerca de 20 elementos com várias origens: litogénica, antropogénica e biogénica. As variações observadas nos teores em elementos litogénicos (*e.g.*, Al, Si, Mn, Fe) parecem estar directamente relacionadas com a distribuição granulométrica dos sedimentos (*e.g.*, Al, Si) ou com características litológicas específicas das respectivas bacias de drenagem (*e.g.*, Mn, Fe). De forma a fazer uma avaliação da influência de actividades humanas desenvolvidas nas diferentes bacias, compararam-se os valores obtidos para os elementos que podem ter origem antrópica (metais pesados) utilizando em cada caso os valores medidos em sedimentos finos depositados em cada um dos estuários e na plataforma continental adjacente. Os padrões de distribuição elementar para a cobertura sedimentar são semelhantes aos valores publicados para sedimentos não poluídos, no caso dos rios Minho e Douro e encontram-se enriquecidos em Cu, Zn e Pb na plataforma adjacente aos rios Tejo e Guadiana (neste também em Cr) estando relacionados com actividades humanas nomeadamente efluentes domésticos e industriais no caso do Tejo e com a longa

e intensa exploração mineira na região (Faixa Piritosa Ibérica), na plataforma adjacente ao Guadiana.

Palavras-chave: Geoquímica, Sedimentos, Contaminação antrópica, Zona costeira Ibérica,

ABSTRACT

Surficial sediments were collected along the Portuguese continental shelf, in particular on the fine sedimentary deposits adjacent to estuaries of Minho, Douro, Tagus and Guadiana rivers, draining the Portuguese coastal area and presenting diverse characteristics. Elemental composition was determined using Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence spectrometry, allowing the determination of about 20 elements of various origins: lithogenic, anthropogenic and biogenic. Variations on the lithogenic elements (*e.g.*, Al, Si, Mn, Fe) seem to be directly related either to the grain size particle distribution (*e.g.*, Al, Si) or to particular lithological features of the draining basin (*e.g.*, Mn, Fe). In order to be able to assess the influence of Human activities developed in the different basins, heavy metal contents determined in fine sediments collected at the estuaries were compared with values obtained for adjacent shelf sediments. Elemental distribution patterns along the shelf sedimentary cover are similar to values published for non-polluted sediments, in the case of Minho and Douro rivers and exhibit Cu, Zn and Pb enriched values for the Tagus and Guadiana shelf (also in Cr for Guadiana). This can

1. Campus Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Estrada Nacional 10, 2686-953, Sacavém, Portugal, faraujo@ctn.ist.utl.pt
2. CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal, jdias@ualg.pt

be related to human activities, most probable domestic and industrial effluents for Tagus and to the long and intensive mining exploitation in this area (Iberian Pyrite Belt) for Guadiana shelf.

Key words: Geochemistry, sediments, anthropogenic contamination, Iberian coastal area.

INTRODUÇÃO

Os maiores rios portugueses (Minho, Douro, Tejo e Guadiana) nascem em Espanha e desaguardam na zona costeira portuguesa, no Oceano Atlântico, estabelecendo todos eles, em troços distintos, parte da fronteira entre Portugal e Espanha. As descargas e a quantidade de sedimentos transportados por estes rios para os estuários e a plataforma continental adjacente foram modificadas ao longo do tempo devido ao aumento crescente das actividades antrópicas, nas quais se incluem a construção de barragens, as intervenções fluviais (rectificação do curso, dragagens, etc.), as actividades mineiras e o desenvolvimento de núcleos urbanos. Contudo, as bacias hidrográficas aludidas apresentam características muito distintas. As bacias dos rios Minho e Douro situam-se na região Noroeste Ibérica, caracterizada por actividades agrícolas e industriais diversificadas e uma elevada densidade populacional. A região central do país é atravessada (E-W) pelo maior rio da Península, o Tejo, em cujo estuário se localiza a região mais densamente povoada do território nacional e onde durante várias décadas do século passado se foram instalando muitas indústrias de vários tipos (cintura industrial de Lisboa).

O rio Guadiana percorre a região sudoeste da Península (N-S), uma região relativamente árida, com grandes variações de temperatura e pluviosidade e drena uma das maiores formações metalogenéticas de sulfuretos maciços – a Faixa Piritosa Ibérica, ao longo da qual as actividades metalúrgicas têm sido o suporte económico de muitas civilizações desde a Pré-História.

Os rios aludidos são fortemente contrastantes, o que está expresso, entre outros indicadores, na relação entre os valores dos escoamentos máximo e mínimo publicados por Ribeiro *et al.*, (1988), que no rio Minho tinham o valor 7, no Douro 6, no Tejo 17, e no Guadiana o impressionante valor de 55.

No que diz respeito à agitação marítima, as condições são igualmente muito diversas. A costa W

é altamente energética, as ondas atingem, no Verão, entre 1-3 m, com períodos inferiores a 10 s. Durante as tempestades de Inverno chegam a exceder os 7 m, com períodos típicos de cerca de 13 s, que podem atingir os 18 s (VITORINO *et al.*, 2002), tendo sido registados valores de 9-12m (Pita e Santos, 1989). A agitação na costa sul é muito mais moderada, a altura das ondas varia entre 0,6 e 1,5 m, com valores sistematicamente superiores a 1 m durante o Inverno (Outubro a Março) (COSTA *et al.*, 2001). Os períodos médios variam entre 4 e 6 s, podendo contudo atingir picos entre 6 e 11 s (Novembro a Janeiro). Nesta zona, foram considerados episódios de tempestade para uma ondulação superior a 3 m (PESSANHA & PIRES, 1981).

Os estuários do Minho e do Douro estão expostos directamente à ondulação dominante proveniente de NW, bastante energética. O estuário do Tejo, devido à serra de Sintra, está relativamente abrigado da onda dominante de NW. O estuário do Guadiana desaguarda na fachada Sul portuguesa, estando exposto tanto à agitação marítima de SW (dominante) como de SE. Em frente às desembocaduras de todos estes rios localizam-se depósitos lodosos, que na região NW Ibérica apresentam uma forma alongada e estão orientados segundo a direcção Sul-Norte.

A composição química dos sedimentos depositados é uma consequência de diversos factores que incluem, entre outros, a sua origem, o grau de meteorização, os processos de transporte e deposição, o clima, bem como o tipo de actividades antrópicas desenvolvidas nas bacias drenantes. Desta forma, o material sedimentar é constituído por elementos litogénicos tipicamente de origem continental, que dependem sobretudo da litologia de cada região (*e.g.*, Al, Si, K, Ti, Mn, Fe, Rb), aos quais se podem adicionar metais pesados (*e.g.*, Ni, Cr, Cu, Zn, As, Pb) produzidos por actividades antrópicas e ainda outros elementos químicos que podem ter origem marinha (*e.g.*, Ca, Sr, S, Cl, Br).

Nas regiões costeiras adjacentes a grandes estuários que se caracterizam por uma deposição sedimentar elevada, e onde, em geral, desde há alguns séculos, existe uma concentração demográfica bastante elevada, os sedimentos mais recentes encontram-se frequentemente enriquecidos em metais.

A compreensão da origem e dos mecanismos de dispersão e de deposição dos sedimentos finos tem sido alvo de estudos multidisciplinares, nos quais se tem

incluído de uma forma sistemática a geoquímica (e.g., ARAÚJO *et al.*, 2002; 2003; CORREDEIRA *et al.*, 2005, 2008; DIAS *et al.*, 2002; MACHADO *et al.*, 2005; MIL-HOMENS *et al.*, 2006; PAIVA *et al.*, 1997). Neste trabalho, pretendemos associar características específicas destas grandes bacias ibéricas, designadamente litologia, caudais, clima e as diferentes actividades humanas, com

a composição química (elementos maiores, menores e traços) do material depositado na plataforma continental adjacente. Para tal, fez-se a análise por espectrometria de fluorescência de raios X, dispersiva de energias de amostras de sedimentos de superfície finos recolhidos nas regiões adjacentes às desembocaduras dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana.



Figura 1: Mapa com a localização das bacias hidrográficas dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana e depósitos adjacentes aos estuários.

Os resultados obtidos permitiram caracterizar a origem, bem como identificar alguns dos mecanismos de transporte e dispersão dos sedimentos na plataforma, avaliar os níveis de contaminação e respectiva associação a diferentes actividades antrópicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Enquadramento regional

Região Norte (Minho-Galiza)

Os rios Minho e Douro fluem na direcção este-oeste e desaguam no Oceano Atlântico na costa W portuguesa. A bacia do rio Minho localiza-se no norte do país, ocupa uma área de 17 081 km² (LOUREIRO, 1986:3-4), dos quais 846km² em Portugal, com um percurso de 300 km, que no seu sector terminal estabelece a fronteira com Espanha. Na região a montante possui uma grande densidade de barragens hidroeléctricas e as litologias dominantes correspondem a formações intensamente metamorizadas intruídas por rochas granitóides. Na região estuarina do lado português distribuem-se por pequenos aglomerados populacionais, pequenas indústrias e agricultura variada. Na margem direita (Espanha) os aglomerados urbanos e as indústrias instaladas no parque industrial do Porrinho e em Ourense são frequentemente identificados como eventuais fontes de poluição no rio Minho.

O rio Douro, com 927 km de comprimento, ao longo do qual estão instaladas numerosas barragens, detém a maior bacia hidrográfica da Península Ibérica, com 97 682 km² (LOUREIRO, 1986:149-150), sendo contudo inferior a 1/5 a situada em território português, onde se desenvolvem actividades agrícolas e industriais diversificadas e possuindo uma elevada densidade populacional. Em Portugal, o rio corre através da conhecida região vinhateira do Douro (Património Mundial da Unesco) até à Régua (onde termina a viticultura devido à influência mais forte do clima Atlântico), ao longo da qual se instalaram, desde há centenas de anos, numerosas quintas dedicadas ao cultivo da vinha para produção do Vinho do Porto. A jusante, nas margens do estuário, localizam-se as cidades do Porto (a 2^a do país) e de Gaia resultando numa elevada densidade populacional. As litologias dominantes correspondem a rochas graníticas e metamórficas. As numerosas barragens que foram sendo construídas ao longo das

últimas décadas, nas bacias hidrográficas dos rios Minho e Douro alteraram profundamente os regimes fluviais naturais. Por exemplo, a capacidade de armazenamento instalada na bacia hidrográfica do Douro aumentou de forma impressionante, passando de 1 689 x 10⁶ m³, em 1950, para 8 165 x 10⁶ m³, em 1980, ou seja, quase 5 vezes mais (DIAS, 2005). Como resultado, o rio Douro, que em regime natural debitaria cerca de 1,8 x 10⁶ m³/ano de carga sólida transportada junto ao fundo, teve esse valor reduzido para cerca de 0,25 x 10⁶ m³/ano no início da década de 80 do século passado (OLIVEIRA *et al.*, 1982). Mesmo assim, o Douro continua a constituir a maior fonte de sedimentos na plataforma NW Ibérica (DIAS *et al.*, 2002).

Região Centro (Tejo)

O rio Tejo, o maior da Península Ibérica, possui uma bacia hidrográfica com 80 629 km² e um comprimento de cerca de 1100 km (LOUREIRO, 1986:281-281), dos quais 230 km correm no centro do país (E-W) até atingir um dos maiores estuários da Europa (320 km²). Também na bacia hidrográfica do Tejo se construiu, ao longo do século XX, uma grande cascata de barragens. A capacidade de armazenamento instalada passou de 573 x 10⁶ m³ em 1950 para 13 300 x 10⁶ m³, em 1980, isto é, 23 vezes mais em apenas 3 décadas (DIAS, 2005). A região do estuário do Tejo é provavelmente a de maior índice populacional e industrial do país, aqui localizam-se as cidades de Lisboa (a maior do país) e Almada, assim como muitos outros agregados populacionais e onde ao longo do último século, em particular durante as décadas de 60 e 70 do século passado se foram instalando numerosas indústrias com características diversas, incluindo indústrias químicas de detergentes, adubos e pesticidas, químico-farmacêuticas, curtumes, metalúrgicas. Para além destas, desenvolveram-se ainda outro tipo de actividades antrópicas, como matadouros municipais, instalações agro-pecuárias, indústrias de curtumes e de pasta de papel. Em termos globais, estas actividades deram origem à produção de efluentes muito contaminados caracterizados por teores elevados de matéria orgânica, óleos e metais pesados. Nas últimas décadas várias destas indústrias foram encerradas o que conduziu a um melhoramento da qualidade ambiental do estuário do Tejo. Do ponto de vista litológico ocorre uma grande variedade de rochas, entre as quais formações xisto-grauvácicas, granitos e rochas carbonatadas.

Região Sul (Guadiana)

O rio Guadiana percorre 810 km desde a nascente em Espanha até desaguar no Oceano Atlântico tendo bacia hidrográfica com área de 66 960 km² (LOUREIRO, 1986:341). A jusante (~110 km) corre na direcção N-S estabelecendo a fronteira com Espanha ao longo de uma região semi-árida onde ocorrem grandes variações de temperatura e pluviosidade, na Faixa Piritosa Ibérica (FPI). As características climáticas nesta região do SW ibérico provocavam uma grande variabilidade nos caudais, resultando em fortes descargas sazonais que alternavam com períodos de seca. Contudo, as actividades antrópicas desenvolvidas, em particular a construção de barragens a partir dos anos 50 do século XX, modificaram fortemente o regime fluvial. A capacidade de armazenamento instalada que era, em 1950, de apenas 56 x 10⁶ m³, passou em 1980 para e 4 469 x 10⁶ m³, isto é, quase 80 vezes mais (DIAS, 2005). A construção do Alqueva, já em 2001, que constituiu o maior lago artificial da Europa, veio modificar ainda mais a situação. Esta grande cascata de barragens provocou forte diminuição da carga sedimentar, estando actualmente o caudal mais ou menos regulado (DIAS *et al.*, 2004). Na fase anterior à construção de grandes barragens, as violentas cheias que por vezes ocorriam, propiciavam a depuração do estuário, exportando para a plataforma continental a contaminação que aí se ia acumulando nos anos em que não se verificavam grandes cheias. Porém, na situação actual, principalmente após a construção da grande barragem do Alqueva, já muito próximo do estuário, deixaram de ocorrer cheias significativas e, consequentemente, a contaminação fica na maior parte arquivada nos sedimentos estuarinos, sendo legítimo deduzir que a exportação para a plataforma diminuiu abruptamente na última década. Porém, continuando o Guadiana a ser um dos maiores rios da Península, em conjunto com o Guadalquivir, estes rios constituem a maior fonte de sedimentos continentais para o Golfo de Cádiz (GONZALEZ *et al.*, 2001).

A litologia dominante é constituída por grauvaques e xistos e um complexo vulcano-sedimentar de complexos de sulfuretos maciços polimetálicos e rochas carbonatadas.

A principal actividade antrópica da região resulta principalmente da intensa e antiga exploração mineira, que remonta à pré-História (CRADDOCK, 1995), tendo sido muito dinamizada durante o período romano.

Todavia, em comparação com as actividades mineiras do mundo contemporâneo, eram explorações relativamente modestas. Foi só em meados do século XIX, com a redescoberta e início da exploração industrial das minas de São Domingos, bem como de várias outras localizadas em Espanha, que os volumes de minério atingiram grandes valores, o que provocou, na altura, episódios de grande poluição do estuário (que, na altura, acabava por ser depurado quando da ocorrência de grandes cheias). O Guadiana, constituiu assim, pelo menos desde o período romano, um meio privilegiado para o transporte de minérios provenientes da mina de S. Domingos até à região costeira. Durante o século XIX, o tráfego fluvial tornou-se intenso, dada a construção de portos fluviais nas margens portuguesa (Pomarão) e espanhola (La Laja) de forma a transportar o minério das minas.

Amostragem e preparação de amostras

As amostras de sedimentos superficiais foram recolhidas nos depósitos sedimentares localizados ao largo das desembocaduras dos grandes rios Ibéricos (Minho, Douro, Tejo e Guadiana) a partir de navios oceanográficos (NRP Almeida Carvalho, NRP Andrómeda e NRP Auriga), durante diferentes campanhas (e.g., PLAMIBELIII, GEOMAR92, CORVET96). Foram também recolhidos sedimentos nos cursos e estuários dos rios Minho, Douro e Guadiana (SEDIMINHO I/93 e WADISED2008). Após a recolha, os sedimentos foram guardados em caixas de plástico e congelados, até ao início da preparação para análise, tendo sido então liofilizados.

Análises químicas

Analisaram-se cerca de 70 amostras de sedimentos superficiais, utilizando-se a espectrometria de fluorescência de raios X, dispersiva de energias, para determinar os elementos maiores, menores e traços, utilizando um espectrómetro comercial KEVEX 771. As análises geoquímicas foram efectuadas na fracção <2mm, de forma a separar elementos grosseiros, como por exemplo conchas. As amostras foram moídas utilizando moinhos de ágata e homogeneizadas, tendo sido preparadas pastinhas a partir de ~2 g de amostra à qual se adicionou um aglomerante. A emissão da radiação X característica dos elementos constituintes das amostras foi obtida recorrendo ao feixe primário produzido na

ampola de Rh do espectrómetro (diferença de potencial 4 kV, intensidade de corrente 0,18 mA, na determinação de Al, Si e S) e também utilizando radiação produzida em alvos secundários: Ge (18kV, 1mA) e Ag (35kV, 0,5mA) para quantificar os elementos K, Ca, Ti, Cr, Mn Fe, Ni, Cu, Zn, e Rb, Sr, Y, Zr, Pb, respectivamente. As intensidades relativas dos picos relativos à difusão elástica e inelástica produzida na interacção com o feixe secundário de Ag foram utilizados na correcção dos efeitos de matriz. A calibração para a determinação quantitativa dos elementos presentes, bem como a avaliação da precisão e exactidão do método foi feita recorrendo aos materiais de referência certificados SRM2704 (Buffalo River, National Institute of Standards and Technology, New York, U.S.A) e SRM1646 (Chesapeake Bay, National Institute of Standards and Technology, New York, U.S.A). A descrição pormenorizada do método de preparação de amostras, equipamento, condições experimentais, análise espectral, determinações quantitativas, bem como a precisão e exactidão do método analítico encontra-se publicada em Araújo *et al.* (2002) e Araújo *et al.* (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química de sedimentos depositados em regiões costeiras adjacentes a estuários resulta de factores diversos, como a litologia e as características da bacia de drenagem, o clima, a distribuição granulométrica, os processos de transporte e deposição, bem como o tipo de actividades antrópicas. Assim, as diferenças entre os teores dos elementos medidos nas amostras estudadas para os vários depósitos sedimentares são fundamentais para a compreensão da evolução específica de cada um dos sistemas estudados.

Sedimentos superficiais da plataforma continental

Na Tabela I apresentam-se os valores máximos e mínimos dos valores das concentrações dos elementos (litogénicos, antropogénicos e lito/biogénicos) determinados nos sedimentos superficiais para cada um dos depósitos sedimentares amostrados.

As variações observadas nos valores de elementos maiores (Al, Si, K) de origem continental, resultantes em geral da erosão e alteração das rochas da bacia de drenagem, não indiciam diferenças significativas

que permitam distinguir a origem dos materiais depositados. De uma forma geral, assemelham-se e parecem resultar sobretudo de variações na distribuição granulométrica e nos teores mais ou menos variáveis de componentes que neste tipo de amostras, podem ser maioritariamente de origem marinha (Ca, Sr). Com efeito, as litologias dominantes nas bacias do Minho e Douro são de índole granítica e xisto-grauváquica, o que se reflecte nos muitos baixos valores de Ca nos sedimentos fluviais e estuarinos (ARAÚJO *et al.*, 2000). No caso das bacias do Tejo e Guadiana, embora ocorram formações carbonatadas, os valores baixos detectados na plataforma adjacente indicam claramente que as partículas carbonatadas resultantes dos processos de erosão e alteração dessas rochas se dissolvem antes de serem depositados. O Al encontra-se normalmente associado a sedimentos mais finos (aluminossilicatos), sendo as concentrações mais elevadas determinadas nos depósitos sedimentares associados ao Tejo e ao Guadiana. O Si apresenta concentrações mais baixas na região adjacente ao Guadiana, associado a fracções granulométricas mais finas e ainda a uma maior diluição devida à presença significativa de bioclastos de origem marinha, indicada pelos teores mais elevados de Ca e de Sr. Observa-se, contudo, outro tipo de comportamento com os elementos Mn e Fe, associados à componente litogénica dos sedimentos. Apresentam valores muito mais elevados nos sedimentos depositados na zona de influência do Guadiana, representando claramente uma assinatura geoquímica dos depósitos de sulfuretos maciços da Faixa Piritosa Ibérica e da sua exploração mineira.

No que se refere a elementos que se podem associar a actividades humanas (efluentes industriais, domésticos, agricultura, actividades mineiras), como o Cr, Cu, Zn e Pb, as diferenças observadas são muito mais significativas. Verifica-se, nos depósitos sedimentares localizados a norte (Minho e Douro), que os valores determinados são em geral baixos e muito semelhantes. Assim, verifica-se que as concentrações são claramente inferiores aos valores publicados na literatura para sedimentos não poluídos, como por exemplo o *Average Shale* (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984); Cr = 90mg/kg; Cu = 45mg/kg; Zn = 95mg/kg e Pb = 20 mg/kg. A única excepção é o Pb que apresenta valores um pouco mais elevados, mas que em estudos anteriores se observou que, de uma forma sistemática,

os teores medidos para sedimentos finos não poluídos, depositados na plataforma eram mais elevados (ARAÚJO *et al.*, 2002; MARTINS *et al.*, 2012). Os sedimentos recolhidos nas regiões adjacentes ao Tejo e Guadiana

apresentam valores mais elevados para Cu, Zn e Pb, este último mais significativo na região adjacente ao Tejo. Os sedimentos depositados a sul, na região adjacente ao Guadiana apresentam também teores elevados de Cr.

Tabela I: Valores máximos e mínimos das concentrações dos elementos determinados nos sedimentos superficiais para cada um dos depósitos sedimentares amostrados.

Elemento	Minho n=5 min-máx	Douro n=17 min-máx	Tejo n=10 min-máx	Guadiana n=10 (min-máx)
Al %	5,0 – 6,8	5,3 – 7,4	5,2 – 8,6	6,6 - 8,1
Si %	26,9 – 30,6	23,1 – 32,6	26,2 – 32,8	20,9 – 25,6
K %	2,0 – 2,3	1,9 – 2,5	2,3 – 2,7	2 – 2,6
Ca %	1,9 – 3,9	1,4 – 5,0	2,9 – 5,8	1,6 – 10,5
Ti %	0,3 – 0,4	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	0,4 – 0,9
Cr mg/kg	59 – 77	22 – 83	27 – 92	58 – 160
Mn mg/kg	222 – 248	235 – 335	200 – 309	379 – 947
Fe %	2,5 – 2,9	2,4 – 3,3	2,1 – 3,8	3,7 – 4,9
Ni mg/kg	23 – 31	22 – 38	15 – 30	17 – 32
Cu mg/kg	14 – 23	15 – 26	26 – 50	27 – 93
Zn mg/kg	61 – 78	64 – 88	94 – 306	121 – 279
Rb mg/kg	129 – 151	139 – 167	124 – 161	83 – 109
Sr mg/kg	150 – 212	139 – 277	139 – 259	184 – 360
Pb mg/kg	27 – 47	26 – 50	45-119	23 – 71

Influência das bacias hidrográficas na plataforma continental

De forma a avaliarmos as diferentes influências de cada uma das bacias hidrográficas (Minho, Douro e Guadiana) nos sedimentos da plataforma comparámos os intervalos de variação dos valores obtidos para as concentrações de elementos químicos (Al, Si, Mn, Fe, Cr, Cu e Zn) associados a uma origem continental ou a eventuais influências antrópicas.

Sistema Minho

No sistema Minho/depósito sedimentar Galiza

(Figura 2), verifica-se um decréscimo no teor de Si, acompanhado por um pequeno aumento do Al nos teores medidos nos sedimentos da plataforma. Em relação aos restantes elementos (metais pesados), verifica-se que os sedimentos estuarinos não apresentam sinais de contaminação, ocorrendo um aumento significativo das concentrações medidas nos sedimentos depositados na plataforma, embora se verifique uma grande diminuição nos intervalos de variação. Este comportamento poderá ser atribuído à deposição mais rápida de partículas grosseiras (muito abundantes no acarreo sedimentar do rio Minho), ainda no estuário e à mais provável exportação de

partículas finas (mais enriquecidas em metais pesados) no acarreo sedimentar em direcção à plataforma. De qualquer forma é também de considerar que a origem dos sedimentos depositados nesta formação seja maioritariamente proveniente de sedimentos transportados do sul, principalmente exportados pelo rio Douro (ARAÚJO *et al.*, 2002).

Sistema Douro

No sistema Douro/depósito sedimentar Galiza (Figura 3), observam-se valores muito semelhantes nos teores medidos em Al e Si nos sedimentos estuarinos e da plataforma. Em relação aos restantes elementos (metais pesados) verifica-se uma tendência geral para uma diminuição significativa das concentrações medidas nos sedimentos depositados na plataforma, bem como dos intervalos de variação determinados. Este comportamento indica que a contaminação determinada nos sedimentos do estuário (teores elevados em Cr, Cu, Zn e Pb) não é detectada na plataforma. Contudo e dado que a principal fonte de sedimentos na plataforma NW Ibérica tem origem no rio Douro, os teores baixos medidos podem ser explicados através das condições oceanográficas particulares que ocorrem na região (tempestades que coincidem com condições de *downwelling*) e que conduzem a uma remobilização e ressuspensão dos sedimentos finos (DIAS *et al.*, 2002) durante os quais o sinal antrópico desaparece.

Sistema Guadiana

No sistema Guadiana/depósito sedimentar Galiza (Figura 4), não se observam variações significativas nos teores medidos em Al e Si nos sedimentos estuarinos e da plataforma, verificando-se contudo uma pequena diminuição de Si, nos sedimentos da plataforma e também nos intervalos de variação de ambos, como consequência da menor granulometria dos sedimentos transportados e depositados. Em relação aos restantes elementos (Mn, Fe, Cr, Cu, Zn e Pb) verifica-se, de uma forma geral que, estes se encontram enriquecidos nos sedimentos estuarinos, mas por outro lado os sedimentos depositados na plataforma adjacente apresentam teores semelhantes igualmente enriquecidos em Mn, Fe, Cr, Cu, Zn e Pb. Os resultados obtidos indicam que os mecanismos de transporte de sedimentos finos na plataforma média

são extremamente eficientes nesta região do norte do Golfo de Cádiz, tal como referido por Gonzalez *et al.* (2007).

No caso do estuário do Tejo, valores de concentrações de metais em sedimentos publicados por outros autores (CAÇADOR *et al.*, 2000; VALE, 1990) indicam claramente a existência de sedimentos estuarinos muito contaminados, principalmente em Zn e Pb. A comparação com valores determinados nos sedimentos da plataforma, que apresentam teores metálicos igualmente elevados (Tabela I) indica que os sedimentos estuarinos são exportados e depositados rapidamente devido à geomorfologia da região mantendo o sinal antrópico.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstra que a composição química dos sedimentos depositados nas formações sedimentares adjacentes aos estuários dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana é resultado da litologia das bacias drenantes, das actividades antrópicas e das diferentes condições oceanográficas e geomorfológicas na plataforma. No caso dos rios do norte do país, os níveis de industrialização, população e agricultura da região do Douro conduzem a níveis elevados de poluição nos sedimentos da região estuarina. Contudo e embora a carga sedimentar destes rios (em particular a do Douro) seja a maior fonte de material para a plataforma, os sedimentos exportados e depositados em direcção ao Norte “perdem” essa contaminação devido a um longo transporte e mistura com materiais marinhos. No caso do Tejo, a grande industrialização e níveis de população elevados dão origem a sedimentos contaminados (Pb e Zn), que saem directamente do estuário e são depositados rapidamente devido à geomorfologia da plataforma resultando num sinal antrópico acentuado no depósito sedimentar adjacente. No Guadiana as actividades mineiras na Faixa Piritosa Ibérica (sulfuretos minerais) são a principal fonte dos teores elevados em Mn, Fe, Cr, Cu, Zn e Pb medidos nos sedimentos estuarinos. Estes níveis elevados de teores metálicos são também encontrados numa vasta zona da plataforma, como resultado dos mecanismos de transporte, muito eficientes, que ocorrem no norte do Golfo de Cádiz.

MINHO

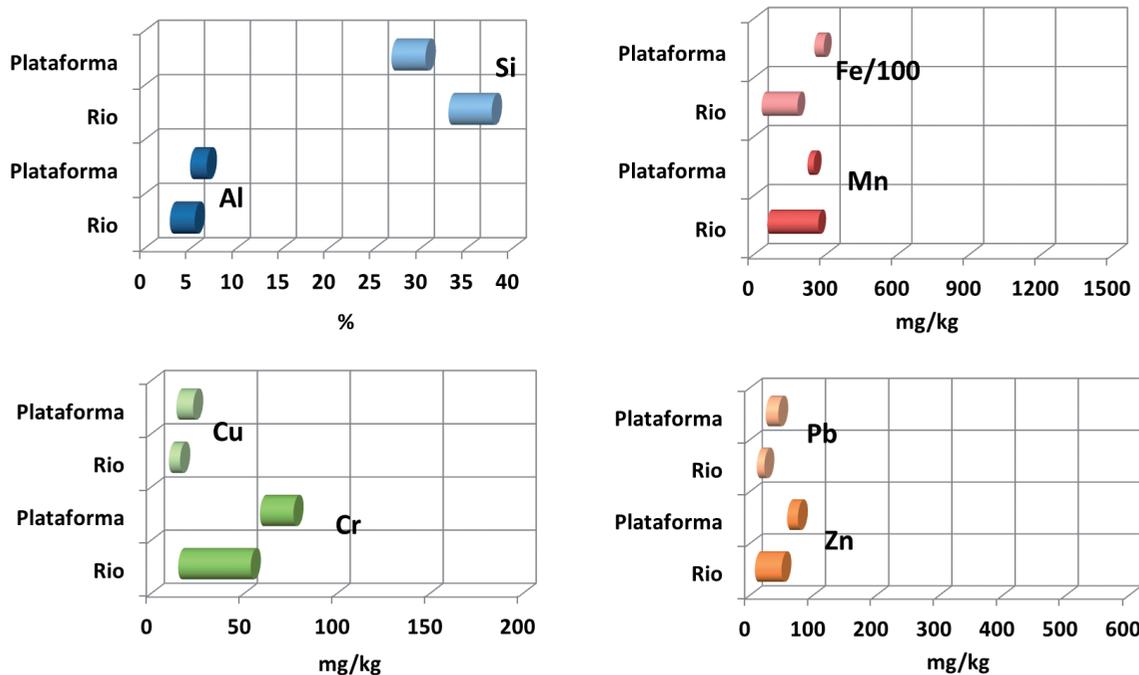


Figura 2: Comparação dos intervalos de variação na composição de alguns elementos químicos nos sedimentos do estuário e na plataforma adjacente (Minho)

DOURO

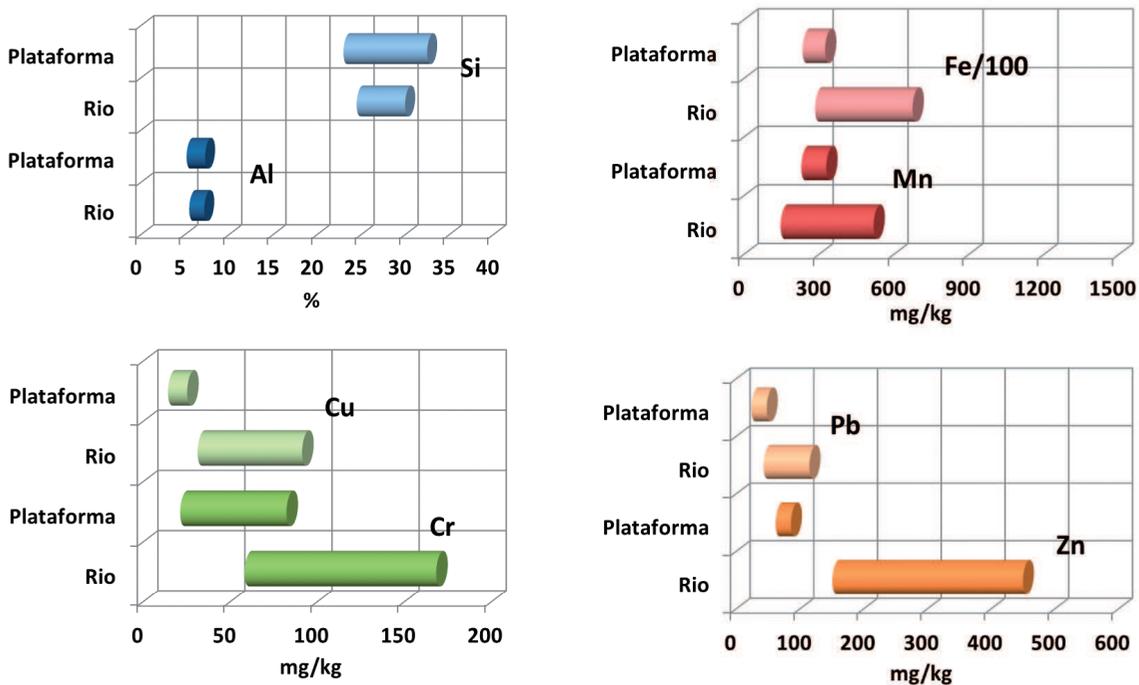


Figura 3: Comparação dos intervalos de variação na composição de alguns elementos químicos nos sedimentos do estuário e na plataforma adjacente (Douro)

GUADIANA

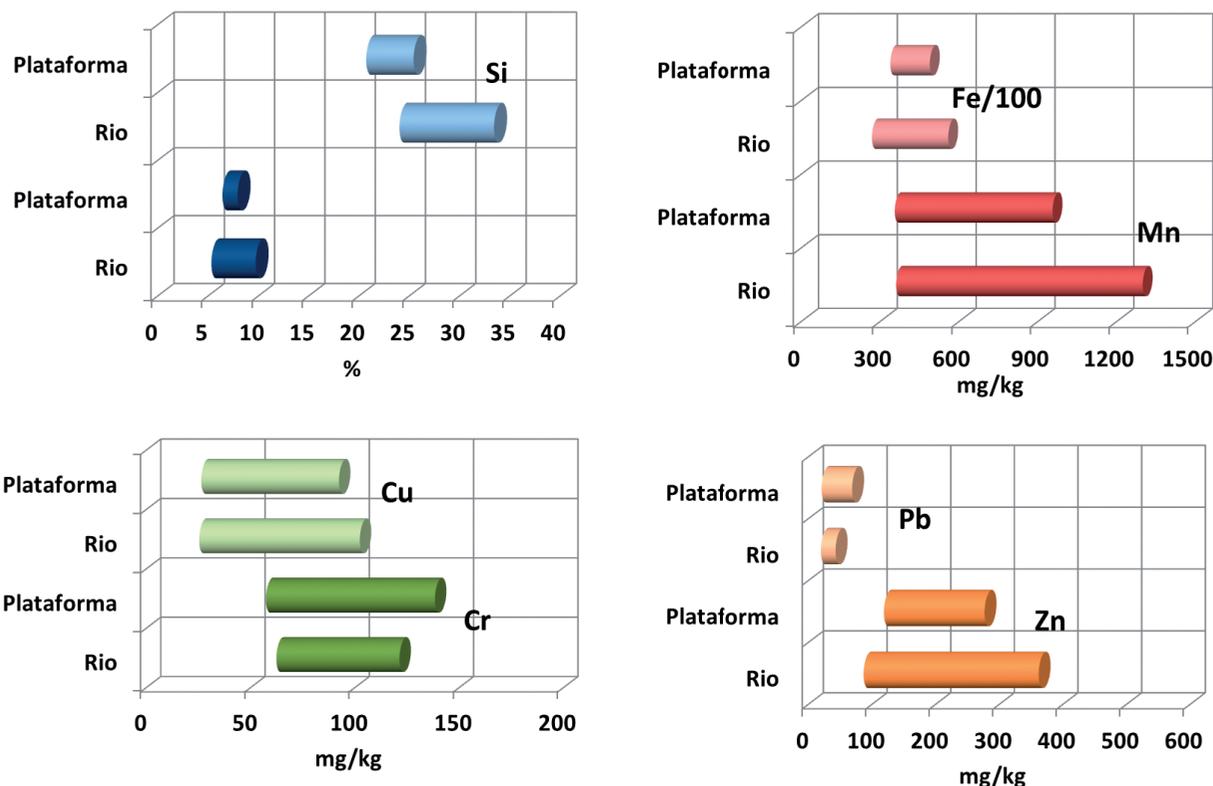


Figura 4: Comparação dos intervalos de variação na composição de alguns elementos químicos nos sedimentos do estuário e na plataforma adjacente (Guadiana)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às equipas que participaram nas campanhas de amostragem e cruzeiros, em particular a colaboração do Instituto Hidrográfico. Agradecem também os subsídios concedidos pela organização para participação no II ENCONTRO DA REDE BRASPOR, que teve lugar entre 1 – 4 Abril de 2012, em Paraty, Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.F., CONCEIÇÃO, A., BARBOSA, T., LOPES, M.T., HUMANES, M. 2003. Elemental Composition of Marine Sponges from the Berlengas Natural Park, *Western Portuguese Coast*, *X-Ray Spectrometry* 32: 428-433.
- ARAÚJO, M.F.; JOUANNEAU, J.-M.; VALÉRIO, P.; BARBOSA, T.; GOUVEIA, A.; WEBER, O.; OLIVEIRA, A.; RODRIGUES & A., DIAS, J.M.A. 2002. Geochemical Tracers of Northern Portuguese Estuarine Sediments on the Shelf. *Progress in Oceanography*, 52 (2-4): 277-297.
- ARAÚJO, M.F.; MARQUES, R. & ROCHA, F. 2000. Chemical and mineralogical characterization of the clay/silt size fraction of sediments from the Minho, Lima, Cávado, Ave and Douro rivers. *Proceedings 3rd In: SYMPOSIUM ON THE IBERIAN ATLANTIC CONTINENTAL MARGIN*, Faro, Portugal, 2000. *Proceedings...* Faro, p. 97-98. 25–27 September, 97–98.
- CAÇADOR, I.; VALE C. & CATARINO, F. 2000. Seasonal variation of Zn, Ph, Cu and Cd concentrations in the root-sediment system of *Spartina maritima* and *Halimione portulacoides* from Tagus estuary salt marshes. *Marine Environmental Research*, 49 (3): 279 -290.
- CORREDEIRA, C., ARAÚJO, M.F., GOUVEIA, A., JOUANNEAU, J.-M. 2005. Geochemical characterization of sediment cores from the

- continental shelf off the western rias area (NW Iberian Peninsula), *Ciencias Mariñas*, **31** (1B): 319-325.
- CORREDEIRA, C.; ARAÚJO, M.F. & JOUANNEAU J.-M. 2008. Copper, zinc and lead impact in SW Iberian shelf sediments: an assessment of recent historical changes in Guadiana river basin. *Geochemical Journal*, **42**: 319 – 329.
- COSTA, M.; SILVA, R. & VITORINO, J. 2001. Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa, JORNADAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 2^{as}, Sines, Portugal, 2001. Anais...
- CRADDOCK, P.T. 1995. *Early Mining and Production*. Smithsonian Institution Press, Washington, 363 pp.
- DIAS, JOÃO M. ALVEIRINHO. 2005. Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos e Naturais. *Encontros Científicos - Turismo, Gestão, Fiscalidade*, 1:7-27. ISSN: 1646-2408.
- DIAS, J.; GONZALEZ, R. & FERREIRA, O. 2004. Natural versus anthropic causes in variations of sand export from river basins: an example from the Guadiana river mouth (Southwestern Iberia). *Polish Geological Institute Special Papers*, **11**, 95-102.
- DIAS, J.; JOUANNEAU, J.-M.; GONZALEZ, R.; ARAÚJO, F.; DRAGO, T.; GARCIA, C.; OLIVEIRA, A.; RODRIGUES, A.; VITORINO, F. & WEBER, O. 2002. Present day sedimentary processes in the northern Iberian shelf. *Progress in Oceanography*, **52** : 249-259.
- GONZALEZ, R.; ARAÚJO, M.F.; BURDLOFF, D.; CACHÃO, M.; CASCALHO, J.; CORREDEIRA, C.; DIAS, J.M.A.;FRADIQUE, C., FERREIRA, J.; GOMES, C.; MACHADO, A.; MENDES, I. & ROCHA, F. 2007. Sediment and pollutant transport in the Northern Gulf of Cadiz: A multi-proxy approach. *Journal of Marine Systems*, **68**: 1-23.
- GONZALEZ, R.; DIAS, J.M.A. & FERREIRA, O. (2001) Recent rapid evolution of the Guadiana estuary (South Western Iberian Peninsula). *Journal of Coastal Research Special Issue*. **34**, 516-527.
- LOUREIRO, J.J.M. (coord.) 1986. *Monografia Hidrológicas dos Principais Cursos de Água de Portugal Continental*. 569pp., Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa, Portugal.
- MACHADO, A.; ROCHA, F.; ARAÚJO, M. F.; VITALI, F.; GOMES, C. & DIAS, J.A. 2005. Geochemical characterisation of surficial sediments from the southwestern Iberian continental shelf, *Ciencias Mariñas*, **31** (1B): 161-177.
- MARTINS R.; AZEVEDO, M.R.; MAMEDE, R.; SOUSA, B.; FREITAS, R.; ROCHA, F.; QUINTINO, V. & RODRIGUES, A.M. 2012. Sedimentary and geochemical characterization and provenance of the Portuguese continental shelf soft-bottom sediments. *Journal of Marine Systems*, **91**:41-52.
- MIL-HOMENS, M.; STEVENS, R.L.; ABRANTES, F. & CATO, I. 2006. Heavy metal assessment for surface sediments from three areas of the Portuguese continental shelf. *Continental Shelf Research*, **26**(10): 1184-1205.
- OLIVEIRA, I. B. MOTA; VALLE, A. J. S. F. & MIRANDA, F. C. C. 1982. Littoral Problems in the Portuguese West Coast, *Coastal Engineering*, **3**: 1950-1969.
- PAIVA, P.; JOUANNEAU, J.-M.; ARAÚJO, F.; WEBER, O.; RODRIGUES, A. & DIAS, J.M.A. 1997. Elemental distribution in a sedimentary deposit on the shelf off the Tagus estuary (Portugal). *Water, Air and Soil Pollution*, **99**: 507-514.
- PESSANHA, L.E. & PIRES, H.O. 1981. *Elementos sobre o clima de agitação marítima na costa sul do Algarve*. Relatório do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Portugal, 66pp.
- PITA, C. & SANTOS, J. 1989. *Análise dos temporais da costa oeste de Portugal Continental*. Relatório POWAVES 1/89-A, IH/LNEC, 29pp.
- RIBEIRO, O.; LAUTENSACH, H. & DAVEAU, S. 1988 - *Geografia de Portugal. II - O Ritmo Climático e a Paisagem*. Edições João Sá da Costa, 623p., Lisboa, Portugal
- SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag press. 349 pp.
- VALE, C. 1990. Temporal variations of particulate metals in the Tagus river estuary. *The Science of the Total Environment*, **97/98**, 137-154.
- VITORINO, J.; OLIVEIRA, A.; JOUANNEAU, J.-M. & DRAGO, T. 2002. Winter dynamics on the northern Portuguese shelf. 1: Physical processes. *Progress in Oceanography*, **52** (2-4), 277-297.