

C. Ramos; A. Ramos-Pereira; T.M. Azevêdo; J.A. Sanchez-Cabeza (2009) – *Aplicação dos Isótopos Radioactivos ^{210}Pb e ^{137}Cs na Avaliação de Taxas de Sedimentação em Planícies Aluviais. O caso da Lezíria do Tejo. Geomorfologia 2008, Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Volume VI, APGeom, Braga, p. 87-92. ISBN: 978-989-96462-0-9.*

Aplicação dos isótopos radioactivos ^{210}Pb e ^{137}Cs na avaliação de taxas de sedimentação em planícies aluviais. O caso da lezíria do Tejo.

Application of the radioactive isotopes ^{210}Pb e ^{137}Cs in the evaluation of the sedimentation rates in alluvial plains. The case of the Tagus' floodplain.

C. Ramos¹, A. Ramos-Pereira¹, T.M. Azevêdo², J.A. Sanchez-Cabeza³

¹Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa (cramos@fl.ul.pt; anarp@fl.ul.pt)

²Centro de Geologia, Universidade de Lisboa (terazeve@fc.ul.pt)

³Marine Environment Laboratory, International Atomic Energy Agency (J.A.Sanchez-Cabeza@iaea.org)

Resumo: Este artigo visa divulgar os primeiros resultados obtidos na definição das taxas de sedimentação, no último século, numa área-amostra da planície aluvial do Tejo, com o recurso a métodos de datação radiométricos adequados a esta escala temporal (^{210}Pb e ^{137}Cs).

O estudo baseou-se na sondagem SEV, efectuada numa área deprimida da planície aluvial, a 2,5km da margem direita do rio, a norte de Santarém, no âmbito do projecto GEOTARIF (Geology and Archaeology of the Tagus River Floodplain over Time, POCTI/CTA/39427/2001). Foram seleccionados apenas os 1,09m superficiais da sondagem, os quais foram seccionados em amostras de 1cm de espessura. A metodologia seguida para o tratamento das 109 amostras e para a análise do ^{210}Pb seguiu o método de Sanchez-Cabeza *et al* (1998) e a cronologia da sedimentação foi obtida através do modelo CRS (Appleby & Oldfield, 1978; Sanchez-Cabeza *et al*, 2000).

A taxa de sedimentação média para o século XX, obtida a partir do ^{210}Pb (em excesso), foi de 8,8mm/ano, mas os dois aspectos essenciais são: (i) a grande variação na deposição de sedimentos ao longo do último século; (ii) a clara tendência do aumento das taxas de sedimentação, nesta área da planície aluvial, em especial a partir dos anos 60.

Os dados obtidos para a deposição do ^{137}Cs na planície aluvial do Tejo, entre 1954 e 1988, mostram uma maior contaminação dos sedimentos aluviais por este radionuclídeo, a partir da entrada em funcionamento da Central nuclear de Almaraz.

Palavras-chave: Tejo, planície aluvial, taxa de sedimentação, ^{137}Cs , ^{210}Pb .

Abstract: This article aims to present the first results of the sedimentation rates obtained for the last century in a sample area of the Tagus alluvial plain, using radiometric data tools, adequate to this temporal scale (^{210}Pb and ^{137}Cs).

The research used the SEV core, taken in a low area of the alluvial plain's right bank, 2,5km away from the river, north of Santarém (Geotarif Project – Geology and Archaeology of the Tagus River Floodplain over Time, POCTI/CTA/39427/2001).

For the purpose of this article, only the 1,09m surface core was used. The core was cut in 1cm samples. The obtained 109 samples were processed using the Sanchez-Cabeza method (Sanchez-Cabeza *et al*, 1998) and the sedimentation chronology obtained by the CRS model (Appleby & Oldfield, 1978; Sanchez-Cabeza *et al*, 2000). The average sedimentation rate for the 20th century, using ^{210}Pb (of excess), was 8,8mm/yr. Two majors aspects must be pointed out: (i) the great variation of the sedimentation rate during last century; (ii) an increasing trend of the sedimentation rate, in particularly after the 60's, in the studied area.

Data obtained by the ^{137}Cs deposition in the Tagus alluvial plain, between 1954 and 1988, show a greater contamination of the alluvial sediments by this radionuclide after the Almaraz Nuclear Power Plant went into operation.

Keywords: Tagus, alluvial plain, sedimentation rate, ^{137}Cs , ^{210}Pb .

1. Introdução: objectivos e metodologia

As variações e tendências evolutivas da sedimentação actual, nas planícies aluviais, têm vindo a ganhar um interesse crescente nos estudos da dinâmica fluvial, à medida que se tornam evidentes as consequências da intervenção antrópica nas bacias de drenagem. A acção humana é um dos factores mais importantes que influenciam o funcionamento hidrogeomorfológico das bacias hidrográficas, através das modificações operadas,

essencialmente, no uso do solo e na rede de drenagem. Os fogos florestais ou a remobilização dos solos, através de maquinaria, para a exploração da floresta de produção com plantação de espécies de crescimento rápido, potenciam a erosão dos solos, fornecendo grandes quantidades de sedimentos que são posteriormente transportados pela escorrência superficial e pelo escoamento fluvial. Por outro lado, a construção de várias dezenas de barragens na bacia hidrográfica do Tejo ibérico, a partir da segunda metade do século XX, diminuiu a área directamente fornecedora de sedimentos à planície aluvial do Tejo e também a frequência das cheias e os seus caudais de ponta (Ramos & Reis, 2001); ou seja, decresceu a capacidade de transporte sedimentar do rio e, conseqüentemente, a potencial deposição dos sedimentos na planície aluvial. Estes dois tipos de acções antrópicas provocam conseqüências contrárias nos balanços sedimentares das planícies aluviais: a primeira faz aumentar a carga sólida, essencialmente de elementos finos, transportada pelos rios, e a sua deposição nas planícies aluviais; a segunda diminui esse potencial, aprisionando parte dos sedimentos nas albufeiras e condicionando muito o seu transporte fluvial, que se faz, no essencial, durante as cheias. Qual será então o balanço destas duas acções contrárias na planície aluvial do Tejo?

Este artigo tem como objectivos: (i) definir as taxas de sedimentação na planície aluvial do Tejo, no século XX, através da utilização de métodos radiométricos adequados a esta escala temporal (^{210}Pb e ^{137}Cs); (ii) detectar as variações temporais nas taxas de sedimentação e eventuais tendências evolutivas; (iii) analisar a contaminação dos sedimentos aluviais por isótopos radioactivos (^{137}Cs).

Para atingir estes três objectivos foram utilizados dados sedimentológicos da sondagem SEV, que foi efectuada para estudar o enchimento holocénico da planície aluvial do Tejo (Ramos *et al*, 2007). Por isso, para o presente estudo, apenas foi seleccionada a parte superficial da sondagem, correspondente a 1,09m dos 19,35m totais. A sondagem foi realizada a nordeste de Santarém, a cerca de 2,5km da margem direita do rio, num local deprimido da planície (8,6m de altitude), drenado artificialmente por valas (Ramos *et al*, 2007). Foi utilizado um amostrador Shelby de 75mm de diâmetro e 1m de comprimento, actuado por pressão hidráulica em furo entubado. Os primeiros 1,09m de sedimentos foram seccionados, com instrumentos não metálicos, em amostras com 1cm de espessura (109 amostras), das quais foram retiradas raízes e pequenas pedras, sendo ainda removida a parte exterior de cada amostra no sentido de evitar a eventual contaminação dos sedimentos durante as fases de tratamento da sondagem e de manuseamento das amostras. Os sedimentos foram posteriormente secos a 60°C. A análise do ^{210}Pb seguiu o método de Sanchez-Cabeza *et al* (1998) e a cronologia da sedimentação foi obtida através do modelo CRS (Appleby &

Oldfield, 1978; Sanchez-Cabeza *et al*, 2000). Deste conjunto de amostras, foram escolhidas algumas homogéneas, no sentido de detectar a presença de ^{137}Cs (através de espectrometria gama de alta resolução – detector Canberra) e de confirmar o modelo de datação pelo ^{210}Pb .

O ^{210}Pb aparece na atmosfera através de um processo natural (fluxo da litosfera para a atmosfera), que é essencialmente constante ao longo do tempo. A sua semi-vida é de 22,2 anos, o que permite estimar as taxas de sedimentação nos últimos 100 anos (4 a 5 semi-vidas).

Na datação dos sedimentos das planícies aluviais utiliza-se usualmente o ^{210}Pb em excesso, ou seja, o que é depositado através da precipitação local (*fallout*) e das cheias.

O ^{137}Cs tem origem artificial e uma semi-vida de 30,17 anos. Foi introduzido no ambiente através dos testes termonucleares que o libertaram para a estratosfera, a partir da qual foi disperso globalmente, depositando-se nas planícies aluviais, tal como o ^{210}Pb , através da precipitação local e das cheias. A maior parte dessa deposição ocorreu entre 1956 e o princípio dos anos 70, apresentando um pico máximo em 1963 e, em várias regiões europeias, um segundo pico em 1986, devido ao acidente da central nuclear de Chernobyl (UNSCEAR, 2000; Stokes & Walling, 2003).

Comparando os dois métodos de datação (^{210}Pb em excesso e do ^{137}Cs) podem-se “apurar” as datas obtidas. No caso da sondagem SEV, essa diferença é em média de + 2 a + 3 anos do ^{137}Cs em relação ao ^{210}Pb .

Como a sondagem foi efectuada em Junho de 2001 e nesse ano hidrológico (2000-01) ocorreram cheias de grande magnitude e duração, deixando uma grande quantidade de sedimentos no local da sondagem, esses sedimentos depois de datados, não foram considerados neste estudo, porque exagerariam as taxas de sedimentação no final do século XX (parte dos sedimentos depositados em cada cheia são removidos na cheia seguinte, o que não aconteceu com os de 2000-01).

Para o estudo da precipitação anual, ocorrida no local da sondagem, foi escolhida a estação de Santarém/E.A., pertencente à rede meteorológica do SNIRH (INAG), a qual possui dados a partir de 1925. Os anos sem dados, entre 1925 e 2000, (num total de oito) foram completados a partir da correlação entre as séries de precipitação anual de Santarém e de Almeirim, esta última estação também pertencente à rede meteorológica do INAG.

Para o estudo das cheias do Tejo foram escolhidas as estações de Vila Velha de Rodão (com dados desde o início do século até 1971-72) e de Almourol (com dados a partir de 1974-75), pertencentes à rede hidrométrica do SNIRH (INAG). Como não se dispunham dos dados diários de V.V. Rodão, para o estudo das cheias nas primeiras seis décadas do século XX,

selecionaram-se os meses com escoamento muito elevado ($>3\text{km}^3$, o que corresponde a 1/3 do escoamento médio anual) e, ainda, os caudais máximos instantâneos anuais. O número de meses com escoamento $>3\text{km}^3$ representa uma medida da duração das cheias, enquanto os caudais máximos instantâneos anuais definem a magnitude atingida pelas cheias. Para as restantes quatro décadas (porque a estação de V.V. Rodão deixou de funcionar) utilizaram-se os dados da estação de Almourol utilizando a mesma metodologia: para a duração das cheias, utilizou-se o número de meses com escoamento $>3,4\text{km}^3$ (1/3 do escoamento médio anual) e, para a magnitude, os caudais máximos instantâneos anuais.

A comparação entre as taxas de sedimentação (obtidas através da datação pelo ^{210}Pb em excesso e do ^{137}Cs) e os episódios de cheia foi efectuada por décadas, tendo-se normalizado os valores das cheias, fazendo corresponder as médias da magnitude e da duração das cheias de todo o período analisado, registadas em cada estação hidrométrica, à unidade (um) sendo o valor de cada década de x.

2. O aumento do ritmo de sedimentação ao longo do século XX: resultados e discussão

Considerando as datações obtidas pelo ^{210}Pb em excesso e pelo ^{137}Cs , a taxa de sedimentação obtida, para o conjunto do século XX, foi de 8,8mm/ano; ou seja, o dobro da registada na Idade do Bronze (4,2mm/ano, entre 3550 e 3086 cal BP), a seguir à desflorestação em larga escala a que foi submetida a bacia-vertente, e cerca de sete vezes superior ao conjunto do Holocénico no mesmo local (Ramos *et al*, 2007).

Como se pode comprovar através da figura 1, ao longo do século XX houve um claro aumento do ritmo de sedimentação, especialmente a partir dos anos 60, apresentando as taxas de sedimentação grandes variações temporais, de entre as quais se destacam: (i) na primeira metade do século, um “pico” no final dos anos 20 e princípios dos anos 30; (ii) na segunda metade do século, dois “picos”, um no princípio dos anos 80 e outro no final dos anos 90 (datação por ^{210}Pb em excesso e pelo ^{137}Cs).

A precipitação local (Santarém) que influencia o escoamento lateral proveniente dos afluentes do Tejo e, conseqüentemente, o afluxo de sedimentos em direcção à planície aluvial, não mostra qualquer tendência de aumento ao longo do século XX, assim como o escoamento anual do próprio Rio Tejo (fig.2).

Dos três “picos” de sedimentação referidos, o primeiro (final dos anos 20) não se deve à ocorrência de anos chuvosos e de escoamento elevado, nem à ocorrência de cheias excepcionais. Contudo, nesse período ocorreu a chamada «campanha do trigo» responsável por efeitos devastadores na erosão dos solos. As searas estenderam-se até pelas charnecas

arenosas da margem esquerda do Tejo. Entre 1928 e 1932, a área cultivada em trigo aumentou 74%, no distrito de Santarém, 46% no de Évora e 29% no de Portalegre (Pais *et al.*, 1976). Esta modificação drástica no uso do solo, e consequente erosão deste, produziu uma elevada carga sedimentar nas linhas de água, que em parte se poderá ter depositado na planície aluvial do Tejo.

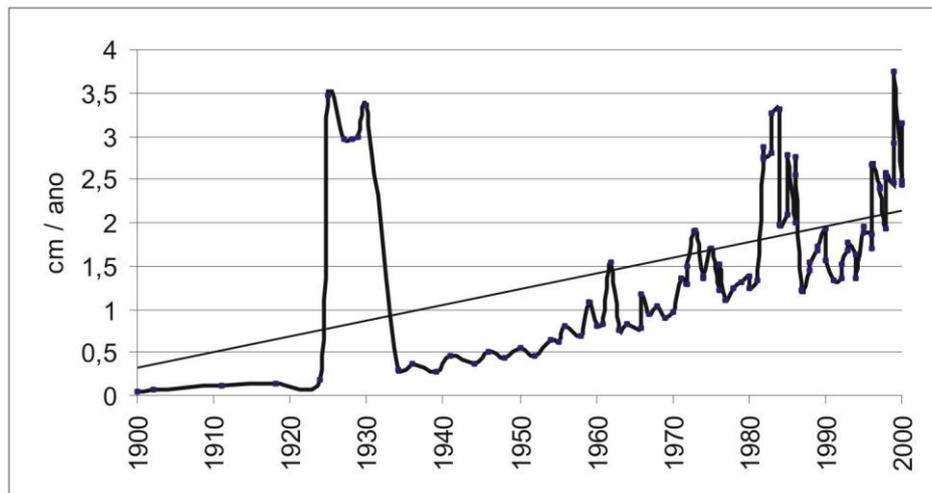


Fig.1 – Variação das taxas de sedimentação, ao longo do século XX, obtidas através da datação pelo ^{210}Pb e ^{137}Cs .

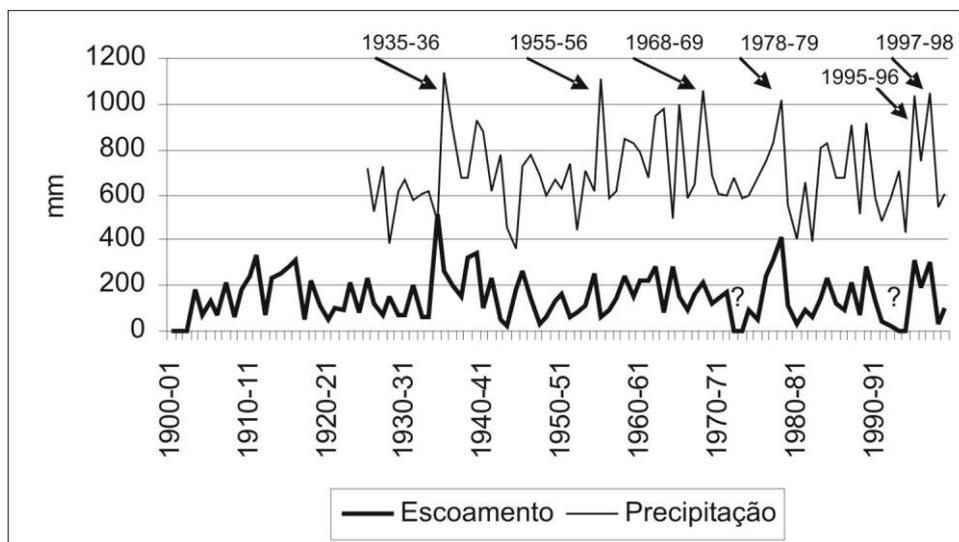


Fig.2 – Variação da precipitação anual (Santarém) e do escoamento anual (V.V. Rodão e Almourol), ao longo do século XX.

O segundo “pico” (princípio dos anos 80) também não coincide com anos particularmente chuvosos e de elevado escoamento, ainda que nos anos de 1976-77 a 1978-79, tenham ocorrido cheias de grande duração e magnitude, registando o rio Tejo, em 1978-79, a maior cheia do século XX. No final dos anos 90 parece haver uma relação entre taxas de

sedimentação elevadas e anos particularmente chuvosos e de escoamento anual abundante (fig.2).

A relação directa entre as datações dos sedimentos, fornecidas pelo ^{210}Pb em excesso e pelo ^{137}Cs , e os eventos hidrológicos ocorridos em datas conhecidas, não pode, como é evidente, ser feita ano a ano, por comportar uma margem de incerteza. Assim, no sentido de aprofundar a análise entre os valores mais elevados das taxas de sedimentação e os eventos de cheia, dividiu-se o século XX em décadas.

As taxas de sedimentação decenais mostram que, enquanto na primeira metade do século XX o ritmo de sedimentação se manteve sem grandes variações, na segunda metade a tendência foi sempre crescente (fig.3). Se o aumento da duração das cheias e dos caudais de ponta atingidos por estas, ao longo das décadas de 50, 60 e 70, parecem justificar a maior acumulação de sedimentos na planície aluvial, já nas duas últimas décadas (80 e 90) isso não acontece. De facto, as taxas de sedimentação, nos anos 80 e 90, continuaram a aumentar, atingindo os seus valores máximos (mais do dobro da taxa de sedimentação média para o século XX), enquanto os caudais de ponta diminuíram (mostrando uma nítida regularização, devida à melhoria na gestão das descargas das barragens espanholas e portuguesas), e a duração das cheias registou grandes oscilações (figs.3 e 4). As barragens e respectivas albufeiras podem reter uma grande parte dos sedimentos fluviais. Contudo, é durante as grandes cheias, que os rios transportam a maior parte da sua carga sedimentar, passando facilmente, pelas comportas das barragens, os sedimentos finos (siltes e argilas) transportados em suspensão em regime turbulento. Tendo como referência a composição textural dos sedimentos da sondagem SEV e as datações obtidas pelos isótopos radioactivos considerados, verifica-se que, antes da artificialização do regime do rio Tejo e da construção da barragem de Alcântara, os sedimentos finos (silte e argila) representavam cerca de 40% do total dos sedimentos depositados, enquanto que, nas últimas duas décadas do século XX, essa percentagem subiu para 68 a 70%.

Um outro fenómeno, que tem afectado a bacia-vertente fornecedora de sedimentos à lezíria do Tejo, são os fogos florestais. Os dados disponíveis (e uniformizados), por distrito, para as últimas duas décadas do século XX são esclarecedores. Para uma melhor comparação dos resultados foram escolhidos os dados dos distritos de Castelo Branco, Portalegre e Santarém, por abrangerem a maior parte da área fornecedora desses sedimentos. Os dados dos incêndios florestais (nº de incêndios e área ardida) e das cheias do Tejo (magnitude e duração das cheias) foram tratados por quinquénio e normalizados, segundo o procedimento descrito no ponto da metodologia. Para as cheias do Tejo utilizou-se a estação hidrométrica de Almourol,

tendo-se considerado os caudais máximos instantâneos anuais para a definição da magnitude das cheias, e o caudal mínimo de cheia (9º decil do mês mais caudaloso) para a definição do nº de dias de cheia (indicador da duração das cheias).

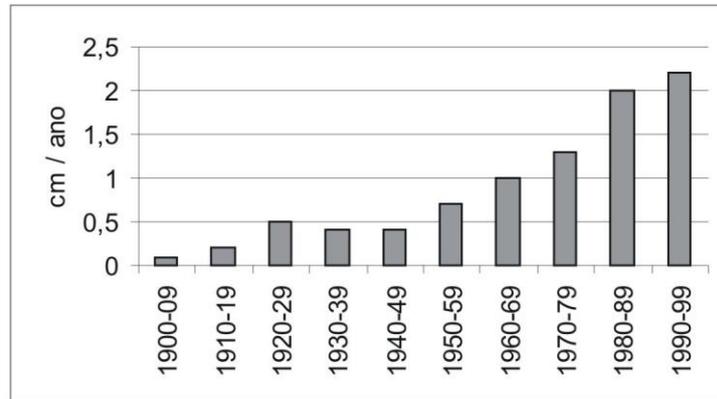


Fig.3 – Variação decenal das taxas de sedimentação, ao longo do século XX, obtidas através da datação pelo ^{210}Pb e ^{137}Cs .

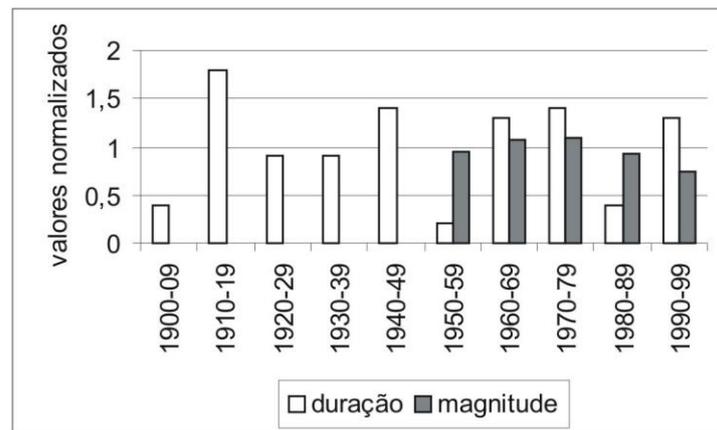


Fig.4 – Variação decenal da magnitude média e da duração média das cheias do Tejo, ao longo do século XX.

As taxas de sedimentação anormalmente elevadas ($\geq 20\text{mm/ano}$; fig.1) dos anos 80 e 90 parecem estar mais relacionadas com o grande aumento dos incêndios florestais do que com cheias excepcionais (fig.5), à excepção dos anos de 1996 e 1997, que no conjunto registaram 49 dias de cheia, valor muito superior à duração média das cheias nestes vinte anos: 6 dias. Se considerarmos o 1º quinquénio (1981-85) e o último (1996-2000), o nº médio de incêndios por ano aumentou de 3 527 para 10 301, enquanto a área ardida aumentou de 50 239ha para 148 602ha. Os solos, desprotegidos na sequência dos incêndios, quando localizados em áreas de declive acentuado, são presa fácil da erosão hídrica e do escoamento fluvial. Um outro aspecto importante é o de que, nas duas últimas décadas do século XX, cerca de metade das

cheias do Tejo ocorreram no Outono, época do ano especialmente crítica para a erosão dos solos.

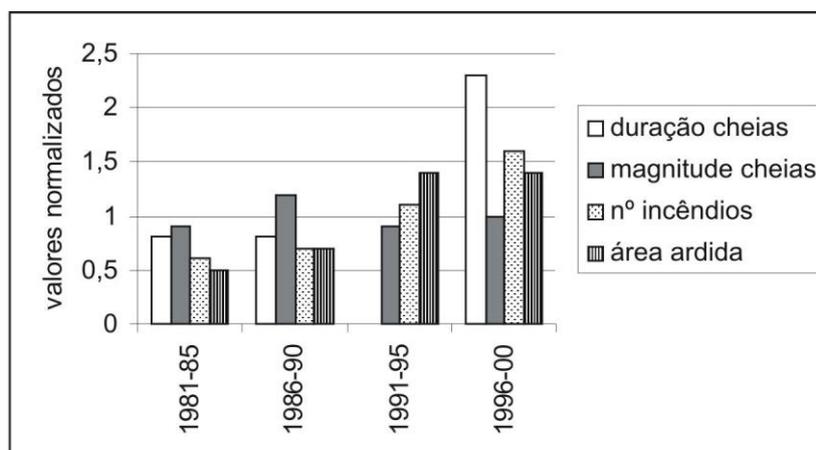


Fig.5 – Variação quinzenal da duração e magnitude média das cheias do Tejo, em Almourol, e do nº de incêndios e área ardida, nos distritos de Castelo Branco, Santarém e Portalegre, nos anos 80 e 90 do século XX.

3. A contaminação dos sedimentos aluviais pelo ^{137}Cs

Os dados disponíveis sobre a concentração do ^{137}Cs nos sedimentos da planície aluvial do Tejo (fig.6) mostram uma “assinatura” deste isótopo radioactivo muito diferente da que seria espectável. Não se evidencia o “pico” de 1963, mas sim um conjunto mais elevado nos anos seguintes, provavelmente devidos à remobilização dos sedimentos pelas numerosas cheias ocorridas na década de 60, relacionadas com a concentração de anos especialmente chuvosos no conjunto do século XX. Mas o facto mais importante é o de que a maior contaminação dos sedimentos aluviais do Tejo ocorre depois do período máximo da deposição do ^{137}Cs no hemisfério norte (entre 1956 e o princípio dos anos 70), coincidindo com a entrada em funcionamento dos dois reactores nucleares da Central de Almaraz (em 1981 e 1983, respectivamente; fig.6). Nesses anos não ocorreram nem precipitações nem cheias excepcionais. Se compararmos os dados (normalizados) da precipitação local (Santarém), das cheias do Tejo (duração e magnitude) e da concentração do ^{137}Cs , por década (fig.7), torna-se evidente que a tendência crescente da contaminação dos sedimentos da planície aluvial do Tejo por este isótopo radioactivo não está relacionada com factores naturais (*fallout* e/ou cheias excepcionais). A fonte de contaminação é provavelmente a Central Nuclear de Almaraz, que tem tido algumas fugas de radioactividade, referenciadas por ONGs, mas cujos dados não têm sido disponibilizados à comunidade científica e ao público em geral.

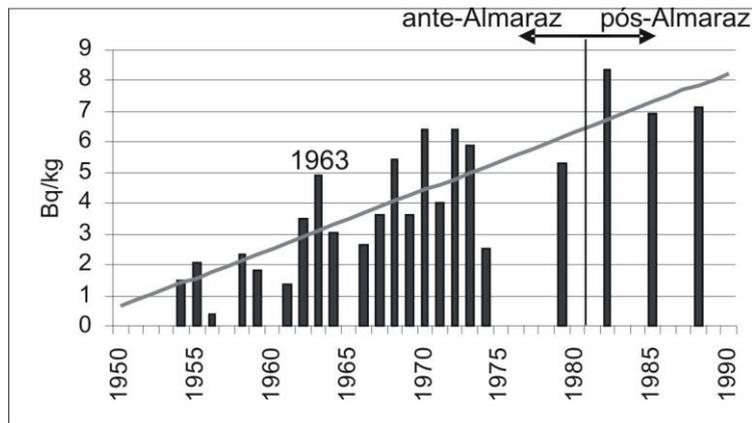


Fig.6 – Tendência evolutiva da contaminação dos sedimentos aluviais do Tejo por ^{137}Cs .

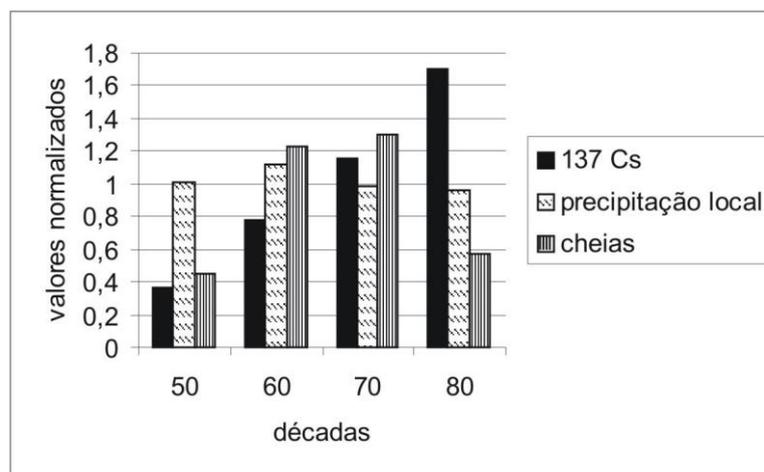


Fig.7 – Comparação da deposição de ^{137}Cs com a precipitação local (Santarém) e com as cheias do Tejo, por década.

4. Conclusão

O balanço sedimentar actual das planícies aluviais depende de variados factores, de entre os quais se destaca acção antrópica. As primeiras evidências dessa acção, devida à desflorestação em larga escala ocorrida na Idade do Bronze, datam de há cerca de 3 500 a 3 000 anos cal BP, que provocou uma erosão dos solos da bacia-vertente do Tejo e a conseqüente deposição de parte desses sedimentos na sua planície aluvial. A taxa de sedimentação atingiu nessa época 4,2mm/ano. A capacidade de intervenção humana no território aumentou drasticamente no último século, com a utilização de maquinaria pesada na agricultura e silvicultura (plantação de espécies de crescimento rápido), que removem profundamente os solos potenciando a sua erosão. Esses sedimentos são presa fácil do escoamento superficial, que, durante as cheias os transporta e deposita em áreas mais deprimidas, como é o caso da maior planície aluvial portuguesa. A taxa de sedimentação atingiu, no século XX, o dobro da ocorrida na Idade do Bronze (8,8mm/ano). Todavia, a construção de grandes barragens, com albufeiras de

retenção, aprisiona uma boa parte dos sedimentos fluviais diminuindo a sua deposição nas planícies aluviais. O “boom” dessa construção ocorreu entre os anos 50 e os anos 70 do século XX, sendo espectável que o balanço sedimentar nas últimas décadas do século XX revelasse essa influência, no sentido da diminuição da carga sedimentar. Tal não aconteceu, pelo contrário: o ritmo de sedimentação aumentou, nas últimas duas décadas do século XX, para cerca de 20mm/ano, sem que a precipitação ou as cheias ocorridas tenham apresentado valores excepcionais que justifiquem esta situação. Uma das causas mais plausíveis para o grande afluxo de sedimentos à planície aluvial do Tejo é o grande aumento dos fogos florestais quer em número de ocorrências quer em área ardida. Contudo, há que considerar outras actividades humanas como a indústria extractiva ou as modificações no uso do solo que potenciam a produção de sedimentos. Um aspecto importante a considerar na investigação futura é se o aumento do ritmo de sedimentação detectado, que contraria a ideia da diminuição do acarreo sedimentar por interposição das barragens, é apenas específico da área estudada (margem direita do Tejo, a norte de Santarém) e dependente de condições locais, ou se é generalizado a toda a planície aluvial.

Bibliografia

- Appleby, P. & Oldfield, F., 1978. The calculation of Lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported Pb-210 to the sediment. *Catena* 5, 1-8.
- Pais, J., Lima, A., Baptista, J., Jesus, M., Gameiro, M., 1976. Elementos para a história do fascismo nos campos: a Campanha do Trigo (1928-1938), I. *Análise Social*, XII, 46, 400-474.
- Ramos, C. & Reis, E., 2001. As Cheias no Sul de Portugal em Diferentes Tipos de Bacias Hidrográficas. *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVI, 71, 61-82.
- Ramos, C., Ramos-Pereira, A., Azevêdo, T., Nunes, E., Freitas, C., Andrade, C., Mozzi, P., Favaretto, S., 2007. Paleoambientes no Médio Tejo desde o Último Máximo Glaciário. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, V, 191-199.
- Sanchez-Cabeza, J., Masqué, P., Ani-Ragolta, I., 1998. Pb-210 and Po-210 analysis in sediments and soils by microwave acid digestion. *J. Radioanalytical and Nuclear Chem.*, 227, 19-22.
- Sanchez-Cabeza, J., Ani-Ragolta, I., Masqué, P., 2000. Some considerations of the ^{210}Pb Constant Rate of Supply (CRS) dating model. *Limnology and Oceanography* 45 (4), 990-995.
- Stokes, S. & Walling, D., 2003. Radiogenic and Isotopic Methodes for the Direct dating of Fluvial Sediments. In: Kondolf, G. & Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. Wiley, Chicester, pp. 233-267.
- UNSCEAR, 2000. *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides*, Kluwer, Dordrecht.