



Determinação da velocidade de sedimentação da baía de Todos os Santos usando Pb-210

Roberto Max de Argollo

Departamento de Geofísica Nuclear-IF-CPGG, UFBA, Brasil

Resumo

Cinco testemunhos de sedimento da parte norte da baía de Todos os Santos foram analisados para Pb^{210} . Os testemunhos eram compostos majoritariamente por areia fina, seguida de areia muito fina e lama. No testemunho BTS2, a atividade do excesso de Pb^{210} em fatias de 1 cm esteve entre 0,475 e 0,073 dpm g^{-1} , com uma atividade do Pb^{210} suportado de 0,379 dpm g^{-1} , os quais estão dentro dos valores esperados para sedimentos marinhos ricos em areia. Para este testemunho, o fluxo anual de massa foi de 545 ± 61 mg $cm^{-2} a^{-1}$, ao qual corresponde uma taxa de sedimentação de $0,218 \pm 0,024$ cm a^{-1} . Nos testemunhos BTS1, BTS3, BTS4 e BTS5, a atividade do Pb^{210} foi praticamente constante com a profundidade sugerindo que o material foi remexido recentemente.

INTRODUÇÃO

Radionuclídeos naturais transportados pela atmosfera têm sido largamente usados nas últimas duas décadas como traçadores em processos sedimentares. Entre eles, o Pb^{210} tem tido um uso crescente como método geocronológico para determinação de taxas de acumulação de sedimentos marinhos e lacustres e de geleiras, em períodos de tempo da ordem de um século (Koide *et alli*, 1973; Robbins e Edgington, 1975; Chanton *et alli*, 1983; Carvalho e Ramos, 1990; Baskaran *et alli*, 1995 e 1996). Os estudos referidos acima foram todos realizados no hemisfério norte. No hemisfério sul, poucos dados sobre o Pb^{210} em sedimentos são conhecidos (Dillenburg, 1994) e nenhum deles em baías.

O estudo da dinâmica de acumulação de sedimentos introduzidos numa baía, seja por descargas de rios ou por erosão das margens, é um assunto complexo. Na baía de Todos os Santos, Vilas Boas *et alli* (1979) concluíram que a maior parte dos sedimentos finos atualmente nela introduzidos, são trazidos em suspensão pelo rio Paraguaçu e devem provir, em grande parte, da desagregação do embasamento cristalino. Esses materiais depositam-se preferencialmente na parte norte da baía, tendo contribuições menores de pequenos riachos, de escoamentos superficiais e da erosão marginal. Constataram, também, concentrações anômalas de zinco adsorvido na superfície das partículas argilosas, as quais atribuíram à poluição dos sedimentos por detritos das quase uma centena de indústrias instaladas em volta da baía nos últimos 50 anos.

O conhecimento da velocidade de sedimentação recente na baía de Todos os Santos é importante para conhecer-se o modo como a baía vem se comportando nas últimas décadas e para avaliar as alterações havidas em seus vários ecossistemas nesse período. Neste trabalho é apresentado o resultado da medida da velocidade de sedimentação para a baía. Ele é parte de um projeto mais amplo, o qual inclui a determinação de taxas de sedimentação e, também, de teores de metais pesados (por exemplo, Cr, Zn, Pb, Cu, As) em perfis do sedimento. A correlação desses dados podem dar informações sobre a época da contribuição do material antropogênico na sedimentação.

BASES TEÓRICAS

Pb^{210} ($T = 22,26$ a) é um parente distante do Ra^{226} na série radioativa do U^{238} . Uma série de propriedades favoráveis, nucleares e químicas, combinam-se para torná-lo uma ferramenta útil em estudos geocronológicos de sedimentos. O Pb^{210} é envolvido em processos sedimentares através de uma série de eventos. Primeiramente, o radionuclídeo Rn^{222} — um precursor do Pb^{210} na série do U^{238} — escapa da crosta da Terra após formação por seu pai o Ra^{226} , numa taxa média de 42 átomos $min^{-1} cm^{-2}$. O Rn^{222} ($T = 3,8$ d) decai na atmosfera, onde, seguindo-se uma série de decaimentos de radionuclídeos intermediários de vida curta, o Pb^{210} é formado, em seguida removido da atmosfera — onde tem um tempo de residência em torno de 10 dias — por chuva e neve e injetado nas águas dos oceanos, lagos ou geleiras através de suas superfícies.

No corpo d'água, o Pb^{210} presente é, parte proveniente da atmosfera e parte produzida pelo decaimento do Ra^{226} existente na água. O Pb^{210} é rapidamente removido da água por reações inorgânicas e bioquímicas, adsorvido por matérias em suspensão e afunda com o fluxo de partículas de sedimentação. O tempo de residência do Pb^{210} nos oceanos é de 1 a 2 anos antes de ele ser incorporado aos sedimentos. Nesses sedimentos existe Pb^{210} produzido *in situ* pelo Ra^{226} presente nos minerais constituintes dos sedimentos; este é o Pb^{210} suportado o qual está normalmente em equilíbrio radioativo com o Ra^{226} . O Pb^{210} precipitado da coluna d'água vem, portanto, constituir-se num excesso de Pb^{210} relativo ao Pb^{210} suportado. Seguindo o processo de sedimentação, o Pb^{210} atado às partículas do sedimento permanece no registro sedimentar, sem qualquer mobilidade que não a do próprio sedimento.

Nas camadas do topo dos sedimentos, um perfil da atividade de Pb^{210} deve mostrar um sobre-equilíbrio radioativo em relação ao Ra^{226} . Com a profundidade, a atividade do Pb^{210} decresce exponencialmente até atingir a atividade de

concentração do Ra^{226} , permanecendo, então, constante. Este valor constante é o nível do ruído de fundo do Ra^{226} e dá o nível de atividade natural do Pb^{210} nos materiais dos sedimentos. O excesso de Pb^{210} nas camadas do topo é a preservação da injeção deste nuclídeo através da coluna d'água e é diretamente dependente do fluxo de deposição do sedimento, ambos considerados serem constante no período geológico considerado. A atividade do excesso de Pb^{210} numa dada amostra é calculada pela diferença entre a atividade total do Pb^{210} e a atividade do Pb^{210} suportado, ou seja,

$$Pb_{exc}^{210} = Pb_{total}^{210} - Pb_{sup.}^{210} \quad (1)$$

A atividade do excesso de Pb^{210} decresce exponencialmente com a profundidade conforme a equação:

$$A(z) = A(0) e^{-\frac{\lambda m}{f}} \quad (2)$$

onde $A(z)$ e $A(0)$ são as atividades a uma profundidade z e na interface água-sedimento, respectivamente, m é a massa cumulativa de sedimento por unidade de área acima duma profundidade z , f é o fluxo de massa de sedimento e λ é a constante de decaimento radioativo para o Pb^{210} ($3,111 \times 10^{-2} \text{ a}^{-1}$). O gráfico de $\log A(z)$ versus m é uma reta, cujo coeficiente angular permite calcular o fluxo f e a taxa de sedimentação w pelas equações:

$$f = -\frac{\lambda}{a} \log e \quad e \quad f = w \rho \quad (3)$$

onde a é o coeficiente angular da reta e ρ a densidade do sedimento *in loco*.

A massa cumulativa, m , serve como uma correção da compactação do sedimento e do encurtamento do testemunho devido ao impacto do amostrador e é calculada a partir do perfil de porosidade em cada testemunho pela equação (Baskaran e Naidu, 1995):

$$m = \sum (1 - \phi_z) \rho_D \cdot \delta_x \quad (4)$$

onde ϕ_z é a porosidade do sedimento na profundidade z , ρ_D é a densidade da amostra seca e δ_x é a espessura de cada fatia em que foi seccionado o testemunho. A porosidade ϕ_z é calculada usando a equação:

$$\phi_z = \frac{P - D}{BV} \quad (5)$$

onde P é o peso da amostra saturada, D é o peso da amostra seca e BV é dado por

$$BV = P + \left[\left(\frac{\rho_a}{\rho_D} \right) - 1 \right] D \quad (6)$$

onde ρ_a é a densidade da água intersticial.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a parte norte da baía de Todos os Santos, onde os sedimentos são caracterizados por fácies de lama, de acordo com Bittencourt *et alli* (1976) e Vilas Boas *et alli* (1979). Os testemunhos foram retirados em profundidades de 3 a 4 m de lâminas d'água e suas localizações feitas por GPS estão mostradas na tabela 1.

Tabela 1 - Localização dos testemunhos por GPS

Amostra	Localidade	Latitude S	Longitude O
BTS1	Saubara	12° 45,24'	38° 34,64'
BTS2	Ilha Maria Guarda	12° 43,75'	38° 38,01'
BTS3	Ilha de Bom Jesus dos Passos	12° 45,75'	38° 37,76'
BTS4	Martelo - Ilha de Maré	12° 44,55'	38° 32,03'
BTS5	Oratório - Ilha de Maré	12° 45,51'	38° 31,06'

A baía de Todos os Santos, um dos maiores acidentes hidrográficos da costa brasileira, com uma área de cerca de 800 km^2 , está situada em 13°S , 38°O . Possui grande beleza, com sua costa apresentando uma ampla diversidade de ecossistemas, com extensas áreas de manguesais, recifes de corais, praias de areias e ricas fauna e flora. A baía apresenta um aspecto recortado, notando-se a presença de uma pequena baía a nordeste, a baía de Aratu, com cerca de 20 km^2 de área e a ela ligada por um canal estreito e profundo e de diversas ilhas de diferentes tamanhos, particularmente concentradas em sua parte norte. A maior dessas ilhas, Itaparica, na entrada da baía, delimita dois canais: um a oeste, canal de Itaparica, estreito e pouco profundo e o outro a leste, canal de Itaparica-Salvador, largo e profundo. Um dos maiores rios da Bahia, o Paraguaçu, desemboca na margem oeste da baía em forma de estuário. A maior parte da baía apresenta uma topografia de fundo relativamente plana, com profundidades entre 2 e 10 m. Profundidades maiores que 20 m são encontradas em alguns canais entre as ilhas, na foz do Rio Paraguaçu e no canal de Itaparica-Salvador, onde atingem valores maiores do que 30 m podendo, localmente, exceder 50 m.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cinco testemunhos foram retirados em 23 de janeiro de 1998 da baía de Todos os Santos utilizando-se tubos de PVC de 76 mm de diâmetro e cerca de 1 m de comprimento, introduzidos no sedimento por vibração e depois mantidos congelados até o momento da análise. Cada testemunho foi extraído do tubo cortando-se este em duas bandas e depois retalhado em fatias de 1 cm de espessura. Cada fatia foi pesada ainda congelada e depois de secada a 90 °C durante dois dias, para determinar-se seu conteúdo de água.

A determinação do Pb²¹⁰ foi feita através da medida da atividade alfa de um de seus descendentes, o Po²¹⁰ (Robbins e Edgington, 1975; Chanton *et alii*, 1983). O Pb²¹⁰ decai para Bi²¹⁰ (T= 5 d) e este para Po²¹⁰ (T=138,4 d), o equilíbrio radioativo entre esses radionuclídeos sendo estabelecido em poucos meses. Para a extração do polônio, as fatias secadas foram pulverizadas usando-se moedor e pistilo de ágata e alíquotas de cerca de 3 g postas em bequer de teflon de 150 ml e digeridas repetidamente em ácidos fluorídrico, nítrico e clorídrico concentrados, seqüencialmente e nesta ordem, numa temperatura de 100 a 110 °C. Para cada ácido repetiu-se três vezes alíquotas de 10 ml levando-se a mistura à secar cada vez. Após a terceira secar com HCl, o sedimento está praticamente todo dissolvido e sem vestígio de ácido nítrico (a eliminação do ácido nítrico é essencial para o propósito de autodepositar o polônio em discos de prata. 1 ml do traçador isotópico Po²⁰⁹ é adicionado à amostra antes da digestão para controlar a eficiência de extração do Po²¹⁰).

A recuperação do polônio em discos de prata foi feito de acordo com Flynn (1968). Após a terceira secar com HCl, aquece-se a solução a 80 °C com 10 ml de HCl concentrado para dissolver o resíduo. Adiciona-se, então, 5 ml de cloridrato de hidroxilamina a 20%, 2 ml de solução de citrato de sódio a 25% e ajusta-se para pH 2,0 com solução de amônia concentrada. A solução é então diluída para 50 ml, colocada sobre uma placa aquecedora com agitador magnético, aquecida a 85 - 90 °C e agitada com um bague de teflon por 2 a 3 min para reduzir Fe³⁺, Cr⁶⁺ ou outros oxidantes que possam estar presentes. Finalmente, mergulha-se o disco de prata de 19 mm de diâmetro no bequer com uma de suas faces protegida por uma fita aderente, remove-se qualquer bolha sobre ele e agita-se a solução por 1 h a 85 - 90 °C com o bequer coberto para evitar evaporação. Nessas condições, o polônio presente na solução adere espontaneamente à prata na face livre do disco. O disco é, então, removido, lavado com água desmineralizada e metanol, secado e posto no espectrômetro alfa para contagens de 24 h. O Po²¹⁰ (T= 138,8 d) e o Po²⁰⁹ (T= 102 a) são determinados através de suas emissões alfa de 5304 kev e 4882 kev, respectivamente.

RESULTADOS

A análise granulométrica do testemunho BTS2 mostrou uma composição majoritária, em peso, de areia fina (≈60%), seguida de areia muito fina (≈20%) e lama (≈10%). Os resultados analíticos para teor de água, massa cumulativa e atividade do excesso do Pb²¹⁰ nas amostras do testemunho BTS2 estão mostrados na tabela 2. A atividade do Pb²¹⁰

Tabela 2 – Testemunho BTS2

Intervalo de profundidade (cm)	H ₂ O (%)	Massa de cumulativa (g cm ⁻²)	Pb _{exc} ²¹⁰ (dpm g ⁻¹)
1-2	21,7	2,93	0,371
2-3	21,8	4,41	0,405
3-4	19,8	5,95	0,393
4-5	23,9	7,35	0,475
5-6	23,4	8,77	0,404
7-8	21,5	11,68	0,454
8-9	21,6	13,16	0,256
9-10	20,8	14,67	0,321
10-11	20,7	16,18	0,367
11-12	20,1	17,71	0,314
12-13	19,8	19,26	0,173
14-15	20,9	22,28	0,181
16-17	22,9	25,16	0,127
18-19	30,5	27,72	0,131
20-21	27,1	30,33	0,115
22-23	27,1	32,92	0,073

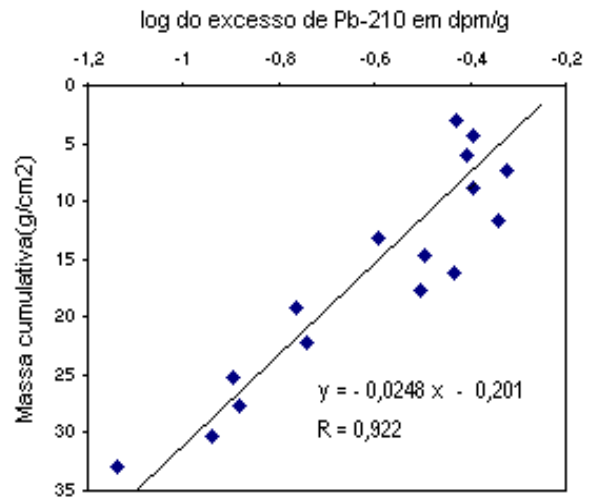


Figura 1 – O log do excesso do Pb²¹⁰ versus a massa cumulativa para intervalos de 1 cm do testemunho BTS2. A taxa de sedimentação média obtida para o testemunho é 2,18 ± 0,24 mm a⁻¹.

decreceu com a profundidade, até tornar-se praticamente constante a partir da massa cumulativa de 33 g cm⁻². Este valor constante, cuja média é 0,379 dpm g⁻¹, é o ruído de fundo do material local e corresponde à atividade do Pb²¹⁰ suportado. A atividade do excesso do Pb²¹⁰ em cada amostra foi calculada pela equação (1) tomando-se a atividade do Pb²¹⁰ suportado igual a 0,379 dpm g⁻¹, constante para todo o testemunho. Os valores para o excesso de Pb²¹⁰ estão mostrados na última coluna da tabela 2, com as atividades corrigidas para 23 de janeiro de 1998.

A figura 1 mostra o gráfico do logaritmo da atividade do excesso de Pb²¹⁰ contra a massa cumulativa de sedimento. Os pontos no gráfico mostram uma tendência linear com coeficiente de correlação de 0,922. O coeficiente angular da reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados deu para o fluxo anual de massa o valor 545 ± 61 mg cm⁻² a⁻¹, ao qual corresponde — tomando para a densidade do sedimento 2,50 g cm⁻³ — uma taxa de sedimentação de 0,218 ±

0,024 cm a⁻¹, ambos os intervalos correspondentes a um desvio padrão.

Os resultados analíticos para a atividade do Pb²¹⁰ nos testemunhos BTS1, BTS3, BTS4 e BTS5 mostraram um valor praticamente constante ao longo dos testemunhos sugerindo que o material foi remexido recentemente. Os testemunhos foram retirados em locais não muito profundos (em torno de três metros em maré baixa), além de ficarem próximos das áreas de produção da PETROBRAS.

CONCLUSÕES

A taxa de sedimentação para uma baía depende da quantidade de material que é despejada nela pelos rios e pela erosão. O valor obtido para a baía de Todos os Santos está concordante com valores publicados para áreas de plataforma continental e outras baías, os quais variam de 0,08 a mais que 1 cm por ano. As atividades obtidas do Pb²¹⁰ estão dentro dos valores esperados para sedimentos ricos em areia. Parte da dispersão apresentada pelos pontos na figura 1 é provavelmente devido a termos tomado o ruído de fundo constante para todas as amostras, o que não é sempre verdade.

Ainda que a medida obtida da taxa de sedimentação neste trabalho já seja uma informação importante para o estudo recente da baía de Todos os Santos, pretendemos fazer determinações em outros pontos da baía, retirando novos testemunhos em profundidades acima de dez metros.

REFERÊNCIAS

Baskaran, M., Shaunna Asbill, Peter Santschi, James Brooks, Michael Champ, Dan Adkinson, Matthew R. Colmer e Vyacheslav Makeyev, 1996. Pu, ¹³⁷Cs and excess ²¹⁰Pb in Russian Arctic sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **140**, 243-257.

Baskaran, M. e A. S. Naidu, 1995. ²¹⁰Pb-derived chronology and the fluxes of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs isotopes into continental shelf sediments, East Chukchi Sea, Alaskiam Arctic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 4435-4448.

Bittencourt, Abílio C. S. P., Yeda A. Ferreira, Enrico di Napoli, 1976. Alguns aspectos na Baía de Todos os Santos, Bahia. *Ver. Bras. de Geof.*, **6**, 246-263.

Carvalho, Fernando P. e Luís A. Ramos, 1990. Lead-210 chronology im marine sediments from the Northern continental margin of Portugal. II Conferência nacional sobre a qualidade do Ambiente, Ed. Universidade Nova Lisboa, Vol.I, pp. 143-151.

Chanton, Jeffrrey P., Christopher S. Martens e George W. Kipphut, 1983. Lead-210 geochronology in changing coastal environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**, 1791-1804.

Dillenburg, S.R., 1994. A laguna de Tramandai: Evolução geológica e aplicação do método geocronológico da termoluminescência na datação de depósitos sedimentares lagunares. Tese de doutorado, UFRGS.

Flynn, W.W., 1968. The determination of low levels of Polonium-210 in environmental materials. *Anal. Chim. Acta*, **43**, 221-227.

Hermanson, M.H., 1990. ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs chronology of sediments from small, shalllow Arcticlakes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 1443-1451.

Koide, Minoru, Kenneth W. Bruland e Edward D. Goldberg, 1973. Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lakes sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**, 1171-1187.

Robbins, John A. e D.N. Edgington, 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan Usin ²¹⁰Pb and Cs-137. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**, 285-304.

Vilas Boas, Geraldo S., Abílio C. P. Bittencourt, 1979. Mineralogia e composição química da fração argilosa dos sedimentos do fundo da baía de Todos os Santos. *Rev. Bras. Geoc.*, **9**, 179-197.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CADCT-SEPLANTEC, BA, cujo apoio financeiro através dos convênios CADCT/LFNA-UFBA, 1996 e nº 42/97, possibilitou a realização desta pesquisa. Agradeço, também, aos colegas Antônio Expedito G. de Azevedo e Olivar Antônio L. de Lima pela leitura crítica deste trabalho.