



MORFOLOGIA DAS ONDAS DE LAMA NA BACIA DO BRASIL, AO SUL DO PLATÔ DE SÃO PAULO, COM BASE EM BATIMETRIA DE VARREDURA E 3,5 kHz

Cleverson G. Silva*, José Antônio Baptista Neto*^Φ, Isa Brehme*, Alberto G. Figueiredo Jr.*

* Depto. de Geologia/LAGEMAR, UFF; ^ΦDepto. de Geografia/FFP/UERJ

ABSTRACT

Bottom currents, related to the North Atlantic Deep Water (NADW) and the Antarctic Bottom Water (AABW) were responsible for reworking and re-sedimentation of seafloor sediments along the Western Brazil Oceanic Basin south of the São Paulo Plateau.

These currents generated sedimentary deposits and associated bedforms, such as a large contourite and an extensive field of mudwaves.

The diverse morphologies of these features were investigated with swath bathymetry and sub-bottom profiler (3.5 kHz).

INTRODUÇÃO

do perfilador de sub-fundo, pôde-se ainda observar na mesma área, outras feições, indicativas de retrabalhamento. As correntes de fundo desempenham um papel importante no transporte e deposição de sedimentos finos, gerando muitas vezes formas de leito com geometrias variáveis e diferentes escalas. As ondas de lama de mar profundo (Damuth, 1980; Flood, 1988; Flood et al., 1993; Blumsack, 1993; Manley e Flood, 1993; Brew e Mayer, 1998), são formas de leito quasi-sinusoidal de larga escala, encontradas em muitas bacias oceânicas ao redor do mundo. Estas feições freqüentemente desenvolvem-se nos flancos de grandes depósitos de contouritos (Fox et al., 1968; Flood e Shor, 1988; Embley et al., 1981; Mello et al., 1992), ao longo do sopé continental (Jacobi et al., 1975; Longsdale, 1983; Sarthein e Meinert, 1986; Jacobi e Hayes, 1992) e próximo a canais de mar profundo (Damuth, 1980; Flood e Shor, 1988). De acordo com Flood (1988) as alturas destas ondas de lama podem variar de <10 m a >100 m, e seus comprimentos de onda variam entre <1m a >10 km. Em sub-superfície, através de métodos sísmicos de alta resolução, é comum observar-se que estas feições apresentam camadas sedimentares sub-paralelas, indicando serem feições estacionárias, que vêm se desenvolvendo por agradação vertical em uma mesma posição por um longo período de tempo. Flood (1988), estudando as ondas de lama da Bacia Oceânica da Argentina, sugere que elas podem se desenvolver por períodos que variam entre 10.000 a pelo menos 100.000 anos. Observações de Howe et al. (1998), indicam que em algumas áreas, as ondas de lama podem migrar talude acima ou talude abaixo e podem se propagar obliquamente, perpendicularmente, ou mesmo paralelamente à direção das correntes.

Um grande campo de ondas de lama foi recentemente observado na Bacia Oceânica do Brasil, na porção sul do Platô de São Paulo, entre as latitudes 28° a 31° S e longitudes 43° a 47° W durante um levantamento oceanográfico nesta região a bordo do Navio Oceanográfico Knorr do Instituto Oceanográfico Woods Hole (EUA) (Figura 1). Neste cruzeiro, foi possível mapear a extensão e morfologia deste campo de ondas de lama, através da utilização de batimetria de varredura e perfilador de sub-fundo operando na freqüência de 3,5 kHz.

A região investigada situa-se no sopé continental e bacia oceânica, a oeste da Elevação do Rio Grande e do Canal Vema, entre profundidades que variam entre 2000 e 4000 metros, formando uma depressão circular, limitada pela isóbata de 4.000 m. Em direção norte, esta região limita-se com a Cadeia de São Paulo, que forma o limite sul do platô de mesmo nome. Assim sendo, esta pequena porção da Bacia do Brasil acha-se confinada entre o talude continental a oeste e duas feições fisiográficas proeminentes respectivamente a norte e a leste, que exercem profunda influência na circulação das correntes de fundo.

Como indicado por Hogg et al. (1996), a circulação oceânica profunda nesta porção ocidental da Bacia do Brasil, é dominada pela Água Intermediária da Antártica (AAIW), pela Água de Fundo do Atlântico Norte (NADW) e pela Água de Fundo da Antártica (AABW). A profundidade de atuação da AAIW situa-se entre 800 e 1.000 m e, na Bacia do Brasil, divide-se em dois sistemas de circulação distintos, um anticiclone centrado em 35°S e um ciclone centrado em 15°S. Estes dois sistemas são aparentemente influenciados pela barreira fisiográfica composta pela Elevação do Rio Grande, Cadeia e Platô de São Paulo. A NADW atua entre profundidades de 2.000 e 3.000 m, dirigindo-se para sul como uma corrente de contorno ao longo da margem oeste da Bacia do Brasil, até a latitude de 50°S, quando retorna para o norte, cruzando a Cordilheira Mesoceânica na altura de 20°S (Reid, 1989). Mais recentemente no entanto, Hogg et al. (1996) observaram que, ao sul do Platô de São Paulo, esta corrente de fundo desenvolve correntes em direções opostas, com fluxo para SW em direção à margem continental e fluxos para SE em direção ao Canal Vema. A AABW dirige-se

predominantemente para o norte, entre as profundidades de 3.000 m e 5.000 m, sendo fortemente controlada pela topografia da Elevação do Rio Grande, que confina a maior parte do fluxo a oeste desta elevação ao longo do Canal Vema. Hogg et al. (1996) também observaram re-circulação da AABW ao redor da depressão circular, marcada pela isóbata de 4.000 m, que ocorre na região ao sul do Platô de São Paulo.

As ondas de lama observadas nesta região possuem morfologia variável, que pôde ser mapeada em zonas distintas de acordo com a amplitude e espaçamento entre as cristas. Com base nos registros por correntes de fundo e seus depósitos correlativos que em muitos locais acham-se interpostos às ondas de lama.

MORFOLOGIA DO FUNDO SUBMARINO

A partir de batimetria de varredura e perfilador de sub-fundo (3,5 kHz), pôde-se mapear o fundo submarino na região compreendida entre 28° a 31°S de latitude e 43° a 47°W de longitude (Figura 1). Nesta área, observa-se, a partir de 2.500 m até aproximadamente 3.900 m, o desenvolvimento de uma série de feições indicativas de retrabalhamento do fundo submarino por correntes de fundo.

A estas profundidades, as principais correntes estão associadas à Água Profunda do Atlântico Norte (NADW) e à Água de Fundo da Antártica (AABW).

O fundo submarino entre 2.500 m e 3.000 m mostra-se acusticamente transparente, com poucos refletores difusos em sub-superfície. Os gradientes são suaves, em torno de 1:200, com a presença de pequenas ondulações. Nesta região, predomina a ação da NADW, cuja direção principal é para SW, atingindo velocidades de 2,5 cm/s, embora Hogg et al. (1996) tenham relatado recirculação, com velocidades de até 5 cm/s nas direções NW e E.

Uma escarpa acentuada é observada entre as profundidades de 3.000 m a 3.450 m, caracterizada por gradientes elevados, em torno de 1:60 e por um fundo submarino altamente refletivo, sem nenhum refletor em sub-superfície (Fig.2a). Na base desta escarpa localiza-se um canal (Fig. 2b), com relevo da ordem de 100 m, que se orienta paralelamente às isóbatas na direção NE-SW.

Gradiente abaixo, na margem leste deste canal, desenvolve-se um grande depósito de "drift" (contourito), eminentemente construtivo, apresentando um fundo altamente refletivo, com vários refletores sub-superficiais, sub-paralelos, acompanhando a superfície do fundo submarino (Fig. 2c). Este contourito apresenta espessuras superiores a 75 m e estende-se por mais de 60 km gradiente abaixo, afinando-se de encontro aos depósitos de um grande campo de ondas de lama que se desenvolve a partir de 3.600 de profundidade. Em muitos locais, os sedimentos do contourito chegam mesmo a preencher parcialmente as cavas entre as cristas das ondas de lama (Fig. 2d).

A formação da escarpa entre 3.000 m e 3.500 m, assim como do canal na base da escarpa e o contourito, estão associados à ação da AABW, que, neste local, dirige-se para NE, atingindo velocidades de até 5 cm/s. (Hogg et al., 1996). Esta corrente de fundo é responsável pela remobilização dos sedimentos da margem oeste do canal, "lavando" a superfície do assoalho oceânico e formando um substrato endurecido. Os sedimentos remobilizados, são depositados na margem leste do canal, formando o contourito.

A partir de 3.500 m, gradiente abaixo até 3.900 m, desenvolve-se um extenso campo de ondas de lama. Estas feições apresentam forma quasi-sinusoidal e mostram refletores sub-paralelos que acompanham o fundo submarino, sugerindo serem ondas estacionárias, cujo gradiente se dá principalmente por acreção vertical.

A morfologia e dimensões destas ondas de lama variam gradativamente gradiente abaixo em faixas, onde predominam ondas de grande amplitude, com comprimentos de onda de até 10 km e alturas de até 40 m. Sobre estas mega-feições acham-se superpostas ondas de lama secundárias, com comprimentos de onda da ordem de 3 km e alturas da ordem de 15 m.

Intercaladas a estas zonas com mega-feições, acham-se faixas com predomínio de pequenas ondas de lama, com dimensões semelhantes às que forem descritas anteriormente.

CONCLUSÕES

As correntes de fundo relacionadas à Água de Fundo do Atlântico Norte (NADW) e à Água de Fundo da Antártica (AABW) foram responsáveis pela remobilização dos sedimentos do fundo submarino na porção SW da Bacia do Brasil, ao sul do Platô de São Paulo.

Um grande contourito, em profundidades de 3.4000 a 3.600 m, é alimentado por um canal paralelo às isóbatas, com direção NE-SW, indicando a ação preponderante da AABW a estas profundidades. Gradiente abaixo, a atuação da corrente do Brasil também se faz presente, desenvolvendo um grande campo de ondas de lama. A morfologia destas feições é extremamente variada, apresentando mega-feições (comprimentos de ondas de 10 km e alturas de 40 m) superpostas por ondas de lama de menores dimensões (comprimentos de onda de 3 km e alturas de 15 m).

REFERÊNCIAS:

- BREW, D.S. & MAYER, L.A. 1998. *Modelling of Pliocene-Pleistocene abyssal mudwaves using synthetic seismograms. Marine Geology, 149: 3-16.*
- BLUMSACK, S. 1993. *A model for the growth of mudwaves in the presence of time-varying currents. Deep-Sea Research, 40: 963-974*
- DAMUTH, J.E. 1980. *Use of high-frequency (3.5-12kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. Marine Geology, 38: 51-75.*
- EMBLEY, R.W.; HOOSE, P.J.; LONSDALE, P.; MAYER, L.A. & TUCHOLKE, B.E. 1981. *Furrowed mudwaves on the*

- western Bermuda Rise. *Geological Society of America Bulletin*, 91: 731-740.
- FLOOD, R.D. & SHOR, A.N. 1988. Mudwaves in the Argentine Basin and their relationship to regional bottom circulation patterns. *Deep-Sea Research*, 35: 943-971.
- FLOOD, R.D. 1988. A lee wave model for deep-sea mudwave activity. *Deep-Sea Research*, 35(6): 973-983.
- FLOOD, R.D.; SHOR, A.N. & MANLEY, P.L. 1993. Morphology of abyssal mudwaves at project MUDWAVES sites in the Argentine Basin. *Deep-Sea Research*, 40(4/5): 859-888.
- FOX, P.J.; HEEZEN, B.C. & HARIAN, A.M. 1968. Abyssal anticyclones. *Nature*, 220: 470-472
- HOGG, N.G.; OWENS, W.B.; SIEDLER, G. & ZENK, W. 1996. Circulation in the Deep Brazil Basin. In: Wefer, G. Berger, W.H., Siedler, G. & Webb, D.J. (eds), *The South Atlantic: Present and Past Circulation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 249-260.
- HOWE, J.A.; LIVERMORE, R.A. & MOLDONADO, A. 1998. Mudwave activity and current-controlled sedimentation in Powell Basin, northern Weddell Sea, Antarctica. *Marine Geology*, 149: 229-241
- JACOBI, R.D. & HAYES, D.E. 1992. Northwest African continental rise: effects of near-bottom processes inferred from high-resolution seismic data. In: *Geological evolution of Atlantic Continental rises*, C.W. Poag & P.C. de Graciansky, editors, van Nostrand Reinhold, New York, pp. 293-326.
- JACOBI, R.D.; RABINOWITZ, P.D. & EMBLEY, R.W. 1975. Sediment waves on the Moroccan Continental Rise. *Marine Geology*, 19: M61-M67.
- LONGSDALE, P. 1983. Sediment drifts of the Northeast Atlantic and their relationship to the observed abyssal circulation. *Bulletin de l'Institut de Geologie du Bassin d'Aquitane*, 31: 141-149
- MANLEY, P.L. & FLOOD, R.D. 1993. Paleoflow history determined from mudwave migration: Argentine Basin. *Deep-Sea Research*, 40: 1033-1055.
- MELLO, G.A.; FLOOD, R.D.; ORSI, T.H. & LOWRIE, A. 1992. Southern Brazil Basin: sedimentary processes and features and implications for continental rise evolution. In: *Geological evolution of Atlantic Continental rises*, C.W. Poag & P.C. de Graciansky, editors, van Nostrand Reinhold, New York, pp. 189-213.
- REID, J.L. 1989. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: flow patterns, tracers, and transports. *Prog. Oceanog.*, 23: 149-244
- SARNTHEIM, M. & MIENERT, J. 1986. Sediment waves in the eastern equatorial Atlantic: sediment record during Late Glacial and Interglacial times. In: *North Atlantic paleoceanography*, C.P. Summerhayes & N.J. Shackleton, editors, *Geological Society Special Publication No. 21*, pp. 119-130.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado durante a expedição do navio Knorr sob a chefia científica da Dra. Delia Oppo e Bil Curry (WHOI) sem ajuda dos quais não teríamos tido chance de coletar estes dados. Agradecemos igualmente a pesquisadora Kátia Fernandes Barbosa (UFF), ao cientista Daniel McCorkle (WHOI) e aos estudantes Fernando Ennes (UFF), Felipe e Karen Toledo (UFRGS) pelo auxílio na coleta de dados.