

ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DE SEIS GRANDES ESTUÁRIOS BRASILEIROS

Santos, F.M¹; Lessa, G.C¹; Lentini, C.A.D²; Genz, F³.

felipe_oceano@yahoo.com.br; glessa@gmail.com

^{1,2}- Universidade Federal da Bahia

Instituto de Geociências, UFBA, Campus Ondina, Salvador (BA)

Palavras-chave: Descarga Sedimentar, Taxa de Sedimentação, Estuários, Baía de Todos os Santos

1. INTRODUÇÃO

A costa brasileira, por ter sido exposta a uma regressão da ordem de 3,5 m nos últimos 6.000 anos (Angulo *et al.* 2006), apresenta ampla evidência de estuários extintos. Existem, no entanto, mais de 25 grandes estuários com área superior a 50 km² entre o Pará e o Rio Grande do Sul, sendo que vários deles estão situados na costa leste. A colmatação, ou extinção, de um estuário está relacionada ao aporte de sedimentos continentais e marinhos, que influenciam a taxa de sedimentação, e ao nível relativo do mar, que pode maximizar, minimizar ou reverter a tendência de assoreamento imposta pela sedimentação.

Segundo Lessa e Gomes (2011), a manutenção destes estuários ao longo do Holoceno pode estar associada a processos de subsidência localizada, relacionada a basculamentos de blocos tectônicos costeiros. As informações sobre o volume dos estuários, taxas de sedimentação e/ou vazões sólidas são escassas, de modo que a avaliação do potencial de assoreamento, do impacto da variação relativa do paleonível marinho e, por conseguinte, da correlação da presença dos estuários com o proposto processo de subsidência, ainda não pode ser feita adequadamente.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar o grau relativo de preenchimento sedimentar de 6 estuários da costa leste brasileira, as baías de Todos os Santos (BTS), Paranaguá, Sepetiba, Guanabara, Camamu e Vitória, e a partir do cálculo de taxas de sedimentação potenciais, avaliar se existem questões regionais associadas a diferentes graus de assoreamento.

2. METODOLOGIA

2.1 Obtenção de dados geomorfológicos e descarga líquida

O mapeamento geomorfológico dos estuários foi feito a partir de imagens Landsat 7 ETM+, utilizando-se a composição RGB (bandas 4, 5, 3) para a identificação das áreas intermareais vegetadas e de apicum, enquanto as áreas intermareais não vegetadas foram delimitadas inicialmente pelas cartas náuticas (quando disponível). Imagens de radar SRTM, com

resolução espacial de 90 metros, foram utilizadas no mapeamento da bacia de drenagem de cada estuário, através da ferramenta *Hydrology* do programa ArcGis 9.2.

As descargas fluviais foram estimadas a partir de séries históricas de estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas e de dados disponíveis na literatura. O volume e a geometria dos estuários foram determinados com a digitalização das cartas náuticas produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Os dados foram interpolados em ArcGis 9.2 para produção do modelo digital de terreno, a partir do qual se fizeram as medições de volume e de áreas por intervalos de profundidade.

2.2 Cálculo da Descarga Sólida

O cálculo da carga sedimentar para os estuários foi feito pelo modelo BQART, proposto por Syvitski e Milliman (2007), que leva em consideração a altitude máxima, temperatura, geologia, vazão fluvial e área da bacia de drenagem. O modelo é baseado na seguinte equação

$$Q_s = w B Q^{0,31} A^{0,5} R T,$$

onde Q_s é a carga sedimentar (kg/ano), w é uma constante de proporcionalidade igual a 0,0006 MT/ano (milhões de toneladas por ano), A é a área da bacia de drenagem [km²], Q é a vazão fluvial [km³/ano], R é a altitude máxima da bacia [km] obtida pelas imagens SRTM e T é a temperatura [°C] obtida pelos mapas de temperatura na página do Ministério do Meio Ambiente. O parâmetro B é descrito por

$$B = I L (1-T_E) E_H,$$

onde I é o fator de erosão glacial, L corresponde à litologia, T_E se relaciona à eficiência de retenção de sedimentos por barragens ou lagos e E_H é a influência antrópica na erosão de solo. Como este estudo refere-se à investigação de processos sedimentares no Holoceno, o valor para $(1-T_E)$, (E_H) e (I) terão o valor 1, ou seja, inexistentes.

A litologia da bacia de drenagem foi obtida pela Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo produzido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em formato digital. Para cada bacia de drenagem, as litologias foram divididas em dois grandes grupos: rochas ígneas e metamórficas (litologias duras) e rochas sedimentares e sedimentos (litologias friáveis). O valor final da litologia para cada bacia foi definido pela média ponderada das áreas de cada grupo, de acordo com a classificação proposta pelo autor.

A bacia do rio Paraguaçu, devido à sua grande área (~50.000 km²) e diversidade de litologias, foi a única subdividida (4 áreas) para o cálculo da descarga sedimentar.

2.3 Cálculo da Taxa de Sedimentação

As taxas de sedimentação foram estimadas dividindo-se a descarga sólida pela área total da baía pela densidade do sedimento, assumindo que o sedimento não saia do estuário. Valores de densidade publicados no Brasil variam entre 1.256 e 1.800 kg/m³, sendo assim, o valor utilizado para o cálculo das taxas de sedimentação foi o valor médio de 1.500 kg/m³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela I apresenta os resultados relativos às áreas, volumes, profundidades, descarga e taxas de sedimentação. Nota-se que as áreas totais dos estuários variam entre 1.233 km² (Todos os Santos) a 45 km² (Vitória). A BTS também apresentou a maior bacia de drenagem (56.911 km²) com vazão fluvial média de 124 m³/s, enquanto Camamu (1.374 km²) apresentou a menor bacia de drenagem com vazão fluvial média de 63 m³/s. A magnitude das vazões fluviais não foi proporcional ao tamanho das bacias de drenagem, tendo variado entre 230 m³/s (Paranaguá) e 19 m³/s (Vitória). Esse fato mostra a importância do clima para a descarga fluvial, já que a maior bacia de drenagem (BTS) está inserida em uma região semi-árida e possui descarga fluvial inferior a bacias de drenagem com área 15 vezes menor (Paranaguá).

Os volumes dos estuários variam em 2 ordens de magnitude, com o maior valor (11,9 x10⁹ m³) para a BTS e o menor valor (0,1 x10⁹ m³) para a Baía de Vitória. As profundidades médias foram calculadas pela razão entre os volumes e as áreas abaixo da cota média de preamar. As menores profundidades médias encontradas para as baías de Paranaguá, Camamu e Vitória (Tabela I) sugerem que esses estuários apresentam um estágio de preenchimento sedimentar potencialmente mais avançado.

O estuário que recebe a maior descarga de sedimentos é a BTS (8,27 x10⁹ kg/ano), enquanto a bacia de drenagem de Camamu apresenta a menor produção de sedimentos (0,26 x10⁹ kg/ano).

As baías de Camamu e Vitória apresentam as menores descargas sólidas absolutas, o que está associado ao tamanho da bacia de suas bacias de drenagem. Estuários com maiores descargas fluviais e menores bacias de drenagem (Camamu) possuem menor descarga sólida absoluta quando comparados a estuários com menores descargas fluviais e maiores áreas de drenagem (Vitória e Sepetiba – Tabela I). Este fato é também salientado por Souza *et al.* (2003), que caracterizou os fluxos de água e sedimentos das bacias da costa leste brasileira e os correlacionou com a tipologia e pressões antrópicas encontradas.

Tabela I - Relação das áreas totais e bacias de drenagem, volumes, profundidades médias, descargas fluviais e sedimentares médias e taxas de sedimentação dos estuários estudados.

Estuário	Área Total	Área Bacia	Desc. Fluvial	Volume	Prof. média	Desc. Sedim.	Tx. Sedim.
	km ²	km ²	m ³ /s	m ³	m	10 ⁹ kg/ano	mm/ano
BTS	1233	58.911	124	11,9 x10 ⁹	9,6	8,27	4,82
Paranaguá	708	3.145	230	2,7 x10 ⁹	3,9	1,97	1,86
Sepetiba	549	2.351	32	3,8 x10 ⁹	7,0	0,95	1,20
Guanabara	449	3.748	85	2,3 x10 ⁹	6,1	1,79	2,66
Camamu	400	1.374	63	1,0 x10 ⁹	2,6	0,26	0,46
Vitória	45	1.703	19	0,1 x10 ⁹	2,2	0,34	5,08

Argollo (2001) e Godoy *et al.* (1998) calcularam as taxas de sedimentação (^{210}Pb) das baías de Todos os Santos e Guanabara, respectivamente. Os autores sugerem valores entre 0 e 4 mm/ano (BTS) e 1 e 3 mm/ano (Guanabara), bastante próximos às taxas de sedimentação encontradas neste trabalho (Tabela I).

É de se esperar que estuários com maiores taxas de sedimentação apresentem estágios de preenchimento sedimentar mais avançado, ou seja, menores profundidades médias. A análise da Figura I, a qual relaciona as taxas de sedimentação e as profundidades médias dos diferentes estuários, mostra que as taxas de sedimentação tendem a diminuir à medida que as profundidades médias aumentam (linha vermelha), o que está de acordo com a hipótese inicial. Nota-se, porém, que as baías de Todos os Santos e Camamu apresentam-se distoantes desta tendência, com a BTS apresentando profundidades bem maiores do que aquelas sugeridas pela linha de tendência geral e Camamu apresentando o comportamento oposto. As discrepâncias podem estar relacionadas a questões estruturais como movimentos tectônicos e geometria do paleovale.

Processos tectônicos podem ter causado subsidência na BTS durante o Holoceno, de acordo com evidências relacionadas por Lessa e Gomes (2011), o que criaria espaço de acomodação para os sedimentos em uma taxa igual ou superior à taxa de sedimentação. No caso da baía de Camamu, onde a morfologia do seu contorno também não indica a ocorrência de processos de emersão recente, a existência de um pequeno paleovale (pequeno espaço de acomodação) e uma sedimentação carbonática potencialmente relevante poderia explicar o avançado estágio de preenchimento sedimentar daquele estuário.

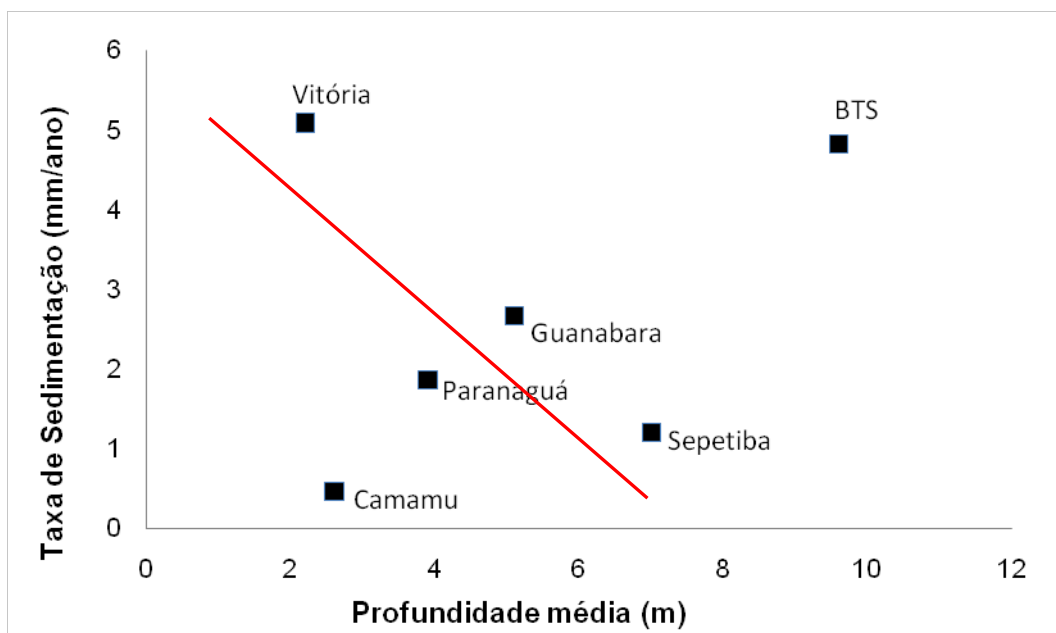


Fig. II - Relação entre taxas de sedimentação e profundidades médias para os estuários estudados. A linha vermelha foi inserida manualmente.

4. CONCLUSÕES

Os estuários estudados apresentaram uma grande variabilidade de características geomorfológicas e nas descargas fluviais e sedimentares. As taxas de sedimentação tenderam a apresentar relação direta e inversamente proporcional com as profundidades médias dos estuários, com as maiores taxas de sedimentação correspondendo a menores profundidades. Desta forma, as taxas de sedimentação podem ser utilizadas para explicar os diferentes estágios de preenchimento sedimentar das baías estudadas, porém outros fatores devem ser levados em consideração, dentre eles processos tectônicos, morfologia dos paleovales, importação de sedimentos e produção de sedimentos autóctones.

REFERÊNCIAS

- Angulo, R.J., Lessa G.C., Souza M.C., 2006. A critical review of the mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews, Londres*, 25 (5-6), pp. 486-506.
- Argollo, R.M., 2001. Cronologias de sedimentação recente de deposição de metais pesados na Baía de Todos os Santos usando Pb 210 e Cs137. *Tese de Doutorado*. Curso de Pós-Graduação em geofísica, universidade federal da bahia, 104 p.
- Godoy J.M., Bragança, M.J., Wanderley C., Mendes L.B., 1998. A Study of Guanabara Bay Sedimentation Rates. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 227, pp.157-160.
- Lessa, G.C., 2005. Baías brasileiras: grandes estuários em uma costa regressiva. *Anais X Congresso ABEQUA, Guarapari-ES*. Arquivo digital 0299_abequa_sedimentologia.pdf.
- Lessa, G.C., Gomes, L.C.C., 2009. The Brazilian Coastal Bays: Are They Expressions of Tectonically Controlled Local Subsidence? *Quaternary Science Reviews*. (Submetido).
- Souza W. F. L.; Knoppers B. 2003. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geochim. Brasil.*, 17(1), pp. 057-074.
- Syvitski, J.P.M., Milliman, J.D., 2007. Geology, Geography, and Human Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean. *The Journal of Geology*, 115, pp. 1-19.