



Estratigrafia sísmica de alta resolução dos sistemas deposicionais Pleistoceno Superior-Holoceno da plataforma sul fluminense, Bacia de Santos

*Raiane Gomes Tardin Cavalcanti do Poço¹; Antonio Tadeu dos Reis^{1,2}; Cleverson Guizan Silva¹,¹LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense (UFF), ²Faculdade de Oceanografia (UERJ)

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

A análise de 1500 km de dados sísmicos de alta resolução permitiu o detalhamento da estratigrafia interna da seção estratigráfica rasa (~30 m de espessura superficial) da plataforma sul fluminense, entre a cidade do Rio de Janeiro e Cabo Frio/RJ. O processamento de tais dados facilitou a visualização e identificação de elementos estratigráficos internos das unidades que compõem a estratigrafia rasa da plataforma. A análise estratigráfica revelou importantes detalhes da sedimentação Pleistoceno Superior-Holoceno desta plataforma (últimos 130 ka): (1) a sequência Sq4 (Pleistoceno Superior, ~130-20 ka) é composta pelo empilhamento de pelo menos duas subunidades sísmicas, denominadas Sq4a e Sq4b. A superfície-topo dessas unidades é marcada por uma série de incisões fluviais. Tais feições evidenciam a existência de aporte fluvial para a plataforma adjacente e de rede de drenagem desenvolvida durante o Pleistoceno Superior; (2) a sequência Sq5 (Pleistoceno Tardio-Holoceno, últimos ~20 ka) reflete a variação de estilos da deposição siliciclástica transgressiva na plataforma fluminense. Na plataforma externa, os sedimentos siliciclásticos são recobertos por extensas bioconstruções carbonáticas, compondo provavelmente parte do sistema transgressivo e de mar alto na área.

Abstract

The analysis of 1500 km of high-resolution seismic chirp data allows the detailed stratigraphy of the Santos Basin continental shelf shallow sedimentary record (~30 m thick), between Rio de Janeiro city and Cabo Frio/RJ. The seismic data processing provides the preview and the interpretation of the stratigraphic elements contained within the uppermost seismic units. The stratigraphic analysis showed important details of Upper Pleistocene-Holocene shelf sedimentary architecture (last ~130 ky): (1) The Sq4 sequence (Upper Pleistocene, ~130-20 ky) comprises the stacking of at least two seismic sub-units, identified as Sq4a and Sq4b. The upper limit of these units is characterized by numerous incised channels. Such features showed the occurrence of fluvial input to the adjacent shelf and a paleodrainage developed during the Upper Pleistocene; (2) The Sq5 sequence (Latest Pleistocene-Holocene, about, last ~20 ky) reflects the siliciclastic depositional variation on the RJ shelf. In the outer shelf, the siliciclastic sediments are overlain by carbonate bioconstructions, composing probably part of the transgressive and highstand systems in the region.

Introdução

As variações do nível do mar durante o Quaternário são consequência de uma série de fenômenos climáticos, que promovem o avanço e o recuo das calotas polares, resultando na ocorrência de períodos glaciais e interglaciais. As oscilações glacio-eustáticas são, portanto, a chave para a compreensão dos eventos geológicos e sedimentológicos ocorridos nas plataformas continentais durante o Quaternário (últimos ~2,6 Ma), como, por exemplo, na plataforma sul fluminense. Trabalhos anteriormente realizados na plataforma continental sul fluminense relatam a ocorrência de sedimentos transgressivos de forma bastante esparsa e pouco representativa em termos de espessura, condições atribuídas a uma plataforma até então classificada como tipicamente faminta durante o Pleistoceno-Holoceno (e.g., Zembruski, 1979; Maia *et al.*, 2010; Reis *et al.*, 2011). Contudo, dados sísmicos de alta resolução recentemente coletados e analisados na área de estudo (Figura 1) revelaram, por exemplo, a deposição de camadas sedimentares contínuas de até 15-20 m de espessura durante a última transgressão (sequência Sq5 depositada sobre a última superfície de exposição regional da plataforma continental (S5)), indicando aporte sedimentar para a região em condições de plataforma não faminta (REIS *et al.*, 2013). Entretanto, o detalhamento da arquitetura interna e das feições associadas às sequências Sq4 e Sq5, bem como várias questões referentes às oscilações eustáticas (transgressões e regressões) durante a deposição da sequência Sq4 (Pleistoceno Superior), assim como à transgressão Pleistoceno Tardio-Holoceno (Sq5), e seu papel morfo-sedimentar, permanecem em aberto na plataforma sul fluminense. Deste modo, o objetivo central deste trabalho consiste no mapeamento sísmico das feições e da reconstrução sedimentar da plataforma continental ocorrida desde o penúltimo ótimo climático (MIS 5e – Marine Isotopic Stage 5e) até a transgressão marinha que acompanhou a última deglaciação Pleistoceno Tardio-Holoceno, iniciada globalmente há cerca de 20 ka, através da utilização de dados sísmicos de mais alta resolução, adquiridos durante a Missão Oceanográfica RIO COSTA 3 (Figura 1).

Estratigrafia sísmica de alta resolução dos sistemas deposicionais Pleistoceno Superior-Holoceno da plataforma sul fluminense, Baía de Santos.

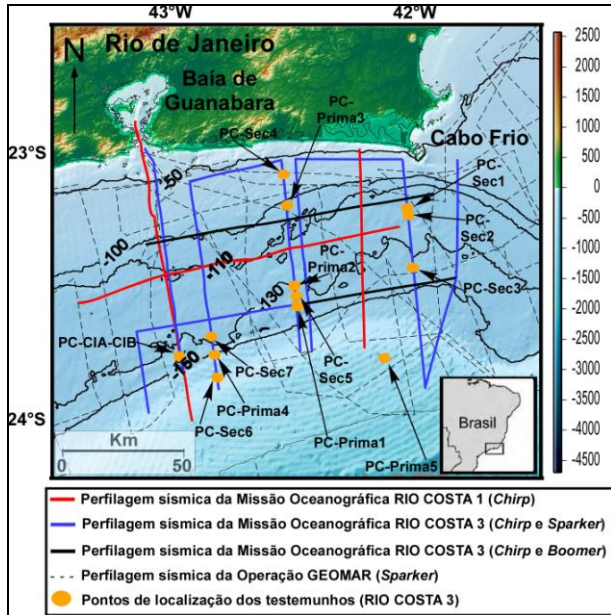


Figura 1 - Mapa de localização da base de dados sísmicos e dos testemunhos recuperados, criado com auxílio do programa Generic Mapping Tool 4.3 (GMT), baseado em fonte dos dados batimétricos obtidos a partir do General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) e de folhas de bordo da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

Metodologia

A metodologia empregada consiste no desenvolvimento de diversas etapas de trabalho. A base de dados utilizada consiste em dados de sísmica de alta resolução (perfilagem de subfundo do tipo *chirp* e sísmica de alta resolução de fontes *boomer* e *sparker*), caracterizados por diferentes níveis de resolução (Figura 2). Além disso, foram coletados 12 testemunhos curtos (1-3 m de recuperação), entre a Baía de Guanabara e Cabo Frio (Figura 1), com o intuito de contribuir para a datação e caracterização das unidades transgressivas mais superficiais, através de sua descrição e datação que se encontram em curso. Uma das etapas mais importantes da metodologia deste trabalho consiste no processamento dos dados sísmicos adquiridos, realizado no software *Seismic Unix* (SU). Alguns perfis sísmicos encontram-se com desníveis (*delay*) ao longo do horizonte correspondente à superfície do fundo submarino (Figura 3A). Além disso, durante a aquisição sísmica, uma série de ruídos é captada pelo equipamento, devido a interferências antrópicas, ambientais ou eletromagnéticas. Tais ruídos dificultam a visualização e interpretação das unidades sísmicas da área estudada. Dessa forma, torna-se necessário o processamento destes dados para aumentar a razão sinal/ruído e melhorar a visualização das reflexões. A identificação destes ruídos pode ser feita por meio da análise espectral (GOMES *et al.*, 2011). Tal análise permite a identificação dos valores de frequência predominantes no dado. Estes valores estarão associados aos refletores de interesse (sinal sísmico),

que são caracterizados por possuírem as maiores amplitudes. Dessa forma, o conteúdo de frequências que estiver fora da faixa associada ao sinal sísmico será considerado como ruído, sendo posteriormente reduzido ou eliminado através da aplicação de filtros (GOMES *et al.*, 2011).

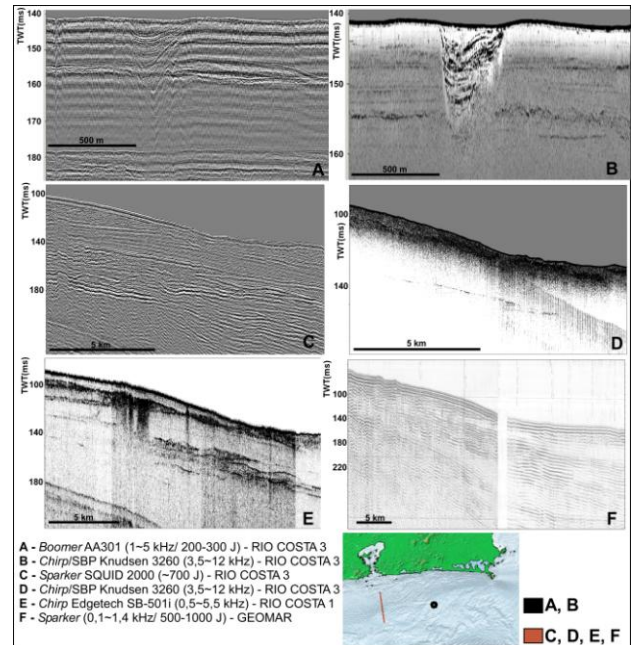


Figura 2 – Exemplos de segmentos de perfis sísmicos processados no software *Seismic Unix* (SU), adquiridos através de diferentes tipos de equipamentos, caracterizados por diferentes níveis de resolução.

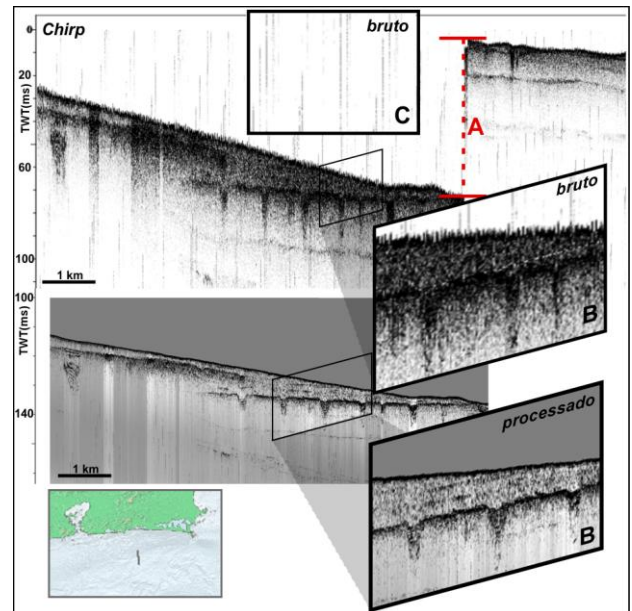


Figura 3 – Exemplo de segmento de perfil sísmico antes e após o processamento com o software *Seismic Unix* (SU), destacando a presença de “*delay*” (A), de efeito de ondas e ruídos, tanto no dado bruto (B), quanto na coluna d’água (C).

Além da filtragem de frequências, outro filtro bastante aplicado para processar os dados sísmicos aqui utilizados é conhecido como *swell filter*. Este filtro tem como objetivo a redução do efeito de ondas (Figura 3B), promovendo assim uma melhora na delimitação da morfologia dos refletores. Outra etapa do processamento sísmico consiste na adição de um comando no *script* (rotina) do SU, denominado comando de silenciamento (*mute*), que diminui, ou até mesmo elimina, os ruídos presentes na coluna d'água (Figura 3C; GOMES *et al.*, 2011). A interpretação dos dados sísmicos processados desenvolve-se no *software* KS Kingdom Suite® 8.2 e baseia-se nos princípios da Sismo-estratigrafia (MITCHUM JR. *et al.*, 1977) e da Estratigrafia de Sequências (CATUNEANU, 2006), para a identificação das principais sequências sísmicas.

Resultados

A análise sismo-estratigráfica aqui realizada utilizou a mesma terminologia de sequências e a calibração cronoestratigrafia estabelecidas por Maia (2009), Maia *et al.* (2010) e Reis *et al.* (2013). Entretanto, os novos perfis sísmicos de mais alta resolução revelaram que as sequências mais recentes Sq4 e Sq5 são estratigraficamente mais complexas e apresentam uma distribuição lateral mais ampla do que mostrado nos trabalhos anteriores realizados na área. A análise sísmica conduzida permitiu o detalhamento interno da sequência Sq4 (especialmente a visualização das subunidades Sq4a e Sq4b; Figura 4A) e o detalhamento interno da sequência Sq5 (que pôde ser subdividida em unidades siliciclásticas e bioconstruções carbonáticas; Figura 4). A sequência sísmica Sq4 encontra-se depositada em toda a plataforma continental da área de estudo, desde a plataforma interna até a região de quebra de plataforma e talude. O limite superior das subunidades Sq4a e Sq4b é caracterizado por superfícies erosivas bastante irregulares, marcadas pela presença de inúmeras canalizações. Os canais esculpidos exibem, em média, profundidades de cerca de 7 m e larguras em torno de 220 m, com evidências de incisões de até 28 m de espessura e mais de 1 km de extensão (Figura 4C2). A sequência Sq4 é constituída por diferentes fácies sísmicas. Dentre elas destacam-se as fácies de preenchimento de canal (f_{a1} e f_{a2} ; Figura 4B), a fácies transparente (ausência de reflexão), as clinofórmulas progradantes e a fácies indicadora de eventos de instabilidade gravitacional. A sequência Sq5, unidade deposicional mais recente, também possui ampla distribuição, sendo observada desde as porções interna a externa da plataforma continental. Seu limite basal consiste em uma superfície de descontinuidade bem definida, S5, caracterizada por feições erosivas e a presença de inúmeros paleocanais (Figura 4). Sua espessura é extremamente variável, exibindo valores menores do que 1 metro em regiões próximas ao talude e superiores a 25 metros, no interior de canalizações. Seu limite superior é constituído pela superfície do fundo submarino atual, caracterizado por padrão morfológico bastante variável entre as plataformas interna e externa, refletindo distintos tipos de disposição sedimentar, como indicado pelas diferentes fácies sísmicas visualizadas.

Assim como a sequência Sq4, a sequência Sq5 também é composta por fácies de preenchimento de canal e por unidades transparentes. Além destas, observa-se a presença de fácies sísmica associada a feições prismáticas transgressivas, com configuração de refletores dispostos em posição progradante. Tais fácies correspondem às unidades transgressivas de origem siliciclástica e somada a elas está a ocorrência de fácies sísmicas relacionadas às bioconstruções carbonáticas, que estão distribuídas, principalmente, na plataforma média e externa (Figura 4). A interpretação dos dados permitiu também a identificação dos principais paleocanais incisos nas sequências sísmicas mais recentes, desenvolvidos durante o Pleistoceno Superior e que evidenciam a existência de uma drenagem fluvial pretérita na área de estudo. A profundidade máxima do talvegue dos principais paleocanais de cada subunidade da sequência Sq4 foi calculada em relação ao nível do mar atual, com o intuito de correlacionar as profundidades destas canalizações com as oscilações eustáticas iniciadas há, aproximadamente, 130 ka. Identificaram-se dois períodos distintos de esculpimento erosivo das incisões (Figura 4C). O primeiro é caracterizado por paleocanais incisos no topo da subunidade Sq4a (Figura 4C1). O segundo período é marcado por incisões que compõem as canalizações esculpidas no topo da subsequência Sq4b (Figura 4C2). As subunidades Sq4a e Sq4b exibem diferentes padrões morfológicos e estratigráficos das incisões que marcam seus topos. De uma forma geral, os paleocanais observados na superfície S5 são constituídos por refletores internos exibindo feições de corte e preenchimento (fácies sísmica f_h e f_i ; Figura 4C2) ou feições de migração lateral de canal, compondo assim canais onde são mais claramente observadas feições dinâmicas de canal fluvial ativo, anteriores à instalação de fácies de afogamento estuarinos. A diferença de padrão de preenchimento de fácies de canais no topo da superfície S5' e no topo da superfície S5 sinaliza, provavelmente, diferenças na rapidez do afogamento, e logo da diminuição da dinâmica fluvial durante as respectivas transgressões marinhas que afogaram os canais.

Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos foram associados às oscilações eustáticas ocorridas em intervalos de tempo distintos, permitindo a identificação do período de deposição de cada sequência sísmica. Entretanto, a determinação da idade de cada depósito não foi baseada em dados cronoestratigráficos, mas sim na correlação entre evidências geomorfológicas e estratigráficas com a compilação de curvas de variação global do nível do mar, baseadas na razão isotópica do $\delta^{18}\text{O}$, estabelecida por Rabineau *et al.* (2006; Figura 4D). A formação da sequência sísmica Sq4 foi associada ao período compreendido entre os estágios isotópicos MIS5e (~130 ka) e o MIS2 (~18-20 ka). Constatou-se que ela pode ser dividida em subunidades relacionadas a ciclos eustáticos de ordem inferior (~20-40 ka de duração). O topo de cada subunidade é marcado por uma série de incisões fluviais esculpidas durante a descida do nível do mar ou em fase

de mar baixo, constituindo evidências de uma paleodrenagem na região. O preenchimento destas canalizações evidencia as fases de transgressão marinha e as fácies sísmicas que o compõe indicam as condições ambientais as quais o canal fora submetido durante a sedimentação. Estima-se que a superfície-topo da sequência Sq4 coincida com o LGM (~18-20 ka; Figura 4D). As subunidades Sq4a e Sq4b podem ser interpretadas como um Trato de Sistema de Mar Alto (HST – *Highstand Systems Tract*). Na região mais distal, a sequência Sq4 possui suas reflexões internas com uma configuração diferente da observada na região proximal, compondo uma arquitetura estratigráfica típica de um período de regressão forçada (FSST - *Falling-stage systems tract*), identificado através de clinofórmats prográdantes (REIS *et al.*, 2013). O limite entre os dois Tratos de Sistemas observados é marcado por um degrau morfológico e estratigráfico evidenciado pela presença de uma descontinuidade. Este degrau foi anteriormente interpretado por Reis *et al.* (2013) como um indicativo da aceleração de queda do nível de base ocorrida entre os estágios MIS3 e MIS2. Com o início da deglaciação há cerca de 18-20 ka, os sedimentos de origem pleistocênica foram retrabalhados e depositados sobre a superfície S5, compondo a sequência Sq5. As diferentes fácies sísmicas encontradas nesta sequência refletem Tratos de Sistemas Transgressivo e de Mar alto. Bartole & De Muro (2012) também relacionaram fácies sísmicas com depósitos característicos de Tratos de Sistemas Transgressivos. Os autores identificaram terraços morfológicos, prismas transgressivos e fácies de corte e preenchimento, características semelhantes às estruturas morfológicas e às fácies sísmicas aqui mapeadas. As fácies prismáticas transgressivas representam clinofórmats prográdantes e podem indicar períodos de estabilização/desaceleração da transgressão marinha, em que ocorre uma diminuição na taxa de criação de espaço de acomodação com conseqüente progradação de fácies siliciclásticas (BARTOLE & DE MURO, 2012). A ciclicidade deposicional das sequências e subunidades sísmicas, bem como a idade dos depósitos sedimentares analisados poderão ser melhor evidenciadas com os futuros resultados da descrição e datação dos testemunhos rasos coletados na área.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq, FAPERJ, CAPES (Ciências do Mar), LAGEMAR.

Referências

Bartole R.; De Muro s. 2012. Acoustic facies and seabed features of the mixed carbonate-siliciclastic deposits of the last eustatic cycle in the La Maddalena Archipelago (North Sardinia, Italy) (DOI: 10.3301/IJG.2011.28) Italian Journal of Geosciences , v. 131, n. 1, p. 102-122.

Catuneanu, O. 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Ed. Elsevier. 375p.

Gomes, M.P.; Vital, H.; Macedo, J.W.P. 2011. Fluxo de processamento aplicado a dados de sísmica de alta resolução em ambiente de plataforma continental. Exemplo: Macau-RN. Revista Brasileira de Geofísica, v. 29, n. 1, p. 173-186.

Maia, R.M.C. 2009. 127p. Arcabouço estratigráfico e ciclicidade deposicional dos sistemas sedimentares plataformais ao largo do Estado do Rio de Janeiro, bacia de Santos. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

Maia, R.M.C.; Reis, A.T.; Alves, E.C.; Silva, C.G.; Silva, A.; Guerra, J.V.; Gorini, C.; Silva, A.; Arantes-Oliveira, R. 2010. Architecture and stratigraphic framework of shelf sedimentary systems off Rio de Janeiro state, northern Santos basin-Brazil. Brazilian Journal of Oceanography, v. 58 (special issue, IGCP526), p. 15-29.

Mitchum Jr., R.M.; Vail, P.R.; Sangree, J.B. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphy Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: C. E. Payton (ed.) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa, AAPG, pp. 294-312 (Memoir #26).

Rabineau, M.; Berne S.; Aslanian, D.; Olivet, J.L.; Joseph, P.; Guillocheau, F.; Bourillet, J.F.; Ledrezen, E.; Granjeon, D. 2006. Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr). Earth and Planetary Science Letters, v. 252, p. 119–137.

Reis, A.T.; Maia, R.M.C.; Silva, C.G.; Gorini, C.; Rabineau, M.; Alves, E.C.; Guerra, J.V.; Simoes, I.C.V.P.; Arantes-Oliveira, R. 2011. Feições geomorfológicas indicativas de variações eustáticas e de exposição sub-aérea da plataforma continental sul fluminense durante o pleistoceno superior-holoceno. Revista Brasileira de Geofísica, v. 29, n. 3, p. 1-24.

Reis, A.T.; Maia, R.M.C.; Silva, C.G.; Rabineau, M.; Guerra, J.V.; Gorini, C.; Ayres, A.; Arantes-Oliveira, R.; Benabdellouahed M., Simões, I.; Tardin, R. 2013. Origin of step-like and lobate seafloor features along the continental shelf off Rio de Janeiro State, Santos basin-Brazil. Geomorphology. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.04.037.

Zembruski, S.G. 1979. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: Hernani A. F. Chaves (Ed.), *Relatório Final*, Serie Projeto REMAC. PETROBRAS/CENPES/DINTEP, Rio de Janeiro, 177p.

