Arquitetura deposicional e datação absoluta das cristas de praia pleistocênicas no complexo deltaico do Paraíba do Sul (RJ)

Depositional architecture and absolute dating of pleistocene beach ridges in Paraíba do Sul deltaic complex (RJ)

Thaís Baptista da Rocha^{1*}, Guilherme Borges Fernandez²,
Maria Naíse de Oliveira Peixoto³, Amilsom Rodrigues⁴

RESUMO: As cristas de praias são feições deposicionais características de costas prográdantes, onde cada crista representa um paleolinha de costa. Essas feições armazenam registros de evolução da paisagem costeira durante o Quaternário, principalmente quando investigadas a partir de métodos de geocronologia e morfoestratigrafia. O complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul se destaca por duas extensas planícies de cristas de praia com idades holocênicas e pleistocênicas, onde esta última apresenta significativas lacunas de investigação. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a arquitetura sedimentar das cristas pleistocênicas por meio da aquisição de dados por Radar de Penetração do Solo (GPR) e sondagem à percussão e identificar as idades absolutas a partir de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) e ¹⁴C AMS. A estrutura interna das cristas de praia revelada pelos perfis de GPR possibilitou a identificação de radarfácies que compõem uma sequência de barreira regressiva ou prográdante, com espessura deposicional em torno de 8 metros. As cristas apresentaram idades absolutas referentes ao estágio isotópico 5a (~ 85.000 anos), embora algumas amostras tenham carecido de um maior número de alíquotas no método do Protocolo *Single-Aliquot Regenerative Dose* (SAR) (LOE). A integração dos métodos GPR e LOE permitiu identificar as unidades deposicionais das amostras datadas e identificar o contato entre as unidades de radarfácies eólica e praial, caracterizado como indicador de paleonível do mar. Este trabalho resultou em discussões acerca da gênese e evolução das cristas de praia e sobre as potencialidades e limitações na associação entre os métodos para investigação Quaternária de planícies costeiras.

PALAVRAS-CHAVE: GPR; radarfácies; LOE; planície costeira; nível médio do mar; Quaternário.

ABSTRACT: Beach ridges are depositional features associated with prograding coasts, where each ridge represents an ancient shoreline. These features store records of coastal evolution during the Quaternary, especially when investigated with geochronological and morphostratigraphical methods. The Rio Paraíba do Sul delta complex has two extensive plains of Holocene and Pleistocene beach ridges, the latter of which still insufficiently known. Therefore, the aim of this work is to characterize the sedimentary architecture of the Pleistocene ridges using GPR profiles, vibrocores and absolute ages obtained by OSL and AMS. A radar facies was identified comprising a sequence of regressive or prograded barriers, with a depositional thickness of around eight meters. Beach ridges showed absolute ages of marine oxygen-isotope substage 5a (~85.000 ka), although some samples require analysis of more aliquots using the SAR protocol. The integration of GPR and OSL methods allowed identification of depositional units of the dated samples as well as the boundary between aeolian and foreshore radar facies, regarded as an indicator of mean sea level. This research resulted in the discussions about the genesis and evolution of beach ridges and the potentialities and limitations in association methods for investigation of Quaternary coastal plains.

KEYWORDS: GPR; radar facies; OSL; coastal plain; mean sea level; Quaternary.

¹Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: thaís.rocha@ufrj@gmail.com

²Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói (RJ), Brasil. E-mail: guilhermefernandez@id.uff.br

³Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: naíse@ufrj.br

⁴Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra – UFF, Niterói (RJ), Brasil. E-mail: amilsom2@uol.com.br

*Autor Correspondente

Manuscrito ID 30009. Recebido em: 23/06/2013. Aprovado em: 07/11/2013.

INTRODUÇÃO

As barreiras costeiras correspondem a uma das feições mais representativas do litoral brasileiro e têm como principais forçantes a ação das ondas e as oscilações do nível do mar, podendo apresentar comportamento progradacional, agradacional ou retrogradacional (Otvos 2012). As barreiras progradantes têm como característica principal a migração da feição arenosa em direção ao mar, que pode estar associada a condições de nível de mar em rebaixamento, configurando regressão forçada, e/ou a uma taxa de aporte sedimentar superior à taxa de elevação do nível do mar, configurando regressão normal. Essa progradação geralmente é marcada pela sucessão de cordões arenosos (*sand ridges*), frequentemente denominado de cristas de praias (*beach ridges*), podendo formar extensas planícies costeiras Quaternárias (Roy *et al.* 1994, Dillenburg & Hesp 2009, Otvos 2012).

De acordo com Tamura (2012), a origem das cristas de praia pode ser explicada pelos modelos de incorporação de bermas (Komar 1976), de incorporação de barras longitudinais e pelos efeitos de ondas de tempestade no caso de cristas de blocos e cascalhos (Psuty 1965). Apesar da origem essencialmente marinha, as cristas tendem a sofrer a atuação dos ventos, podendo gerar capeamento eólico sobre as feições ou mesmo promover o desenvolvimento de dunas frontais. Ainda assim Hesp *et al.* (2005) ressaltam a dificuldade da compreensão da gênese das respectivas feições, bem como a diferença dos termos cristas de praia e cristas de dunas frontais; diferentemente de Otvos (2000) e Tamura (2012), os quais tendem a utilizar o termo crista de praia para qualquer tipo de cordão arenoso.

A investigação geocronológica dessas cristas tem permitido a construção de modelos evolutivos de planícies, bem como a formulação de taxas de progradação da linha de costa, uma vez que cada crista representa uma paleolinha de costa ou paleolinha de praia. Além disso, se a altimetria da base de cada crista é conhecida, esses dados podem atuar como indicadores de variações do nível do mar (Nielsen *et al.* 2006). Recentemente, essas investigações têm se intensificado principalmente em função do aumento da acurácia das técnicas de datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), conforme evidenciado em Reiman *et al.* (2010), Rink e López (2010), Nielsen *et al.* (2006), Bristow e Pucillo, (2006), Argyilan *et al.* (2005), Otvos (2005), Banerjee *et al.* (2003) e Murray-Wallace *et al.* (2002).

Em termos estratigráficos, as cristas de praia ou dunas refletem uma arquitetura sedimentar referente a processos marinhos e eólicos, além das condições deposicionais relacionadas ao comportamento do nível do mar e ao espaço de acomodação. Nesse sentido, a investigação da morfostratigrafia também é essencial à compreensão evolutiva

das planícies, sobretudo quando aliada às informações geocronológicas, como mostram Rodriguez & Meyer (2006), Garrison Jr *et al.* (2010) e Hein *et al.* (2012). Neste caso, além das sondagens, a utilização do Radar de Penetração do Solo (GPR) tem sido amplamente utilizado, pois possibilita a detecção da espessura sedimentar, forma, orientação e descontinuidades das unidades deposicionais identificadas de maneira não invasiva (Neal 2004, Buynevich 2006, Schrott & Sass 2008, Van Dan 2012).

Uma das áreas de maior ocorrência das planícies de cristas de praias no litoral fluminense é o Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul. Este é definido como um conjunto de ambientes sedimentares relacionados às diversas fases deposicionais do Rio Paraíba, onde se destacam duas planícies costeiras. A primeira, ao norte do Cabo de São Tomé (Fig. 1), está relacionada ao delta atual, sendo considerada holocênica. A segunda, à sul do mesmo cabo, é considerada um registro do antigo delta, cujas cristas de praia teriam se formado durante o último período glacial, ocorrido a partir de 123.000 anos, portanto considerada pleistocênica (Martin *et al.* 1982, Silva 1987, Dias & Kjerfve 2009).

As informações cronológicas prévias existentes nesta planície apresentam-se sustentadas por poucas datações relativas, obtidas nos sedimentos orgânicos das lagunas truncadas pela barreira costeira defronte ao mar (Fig. 2) por Martin *et al.* (1984) e Almeida (1997). Além da lacuna geocronológica, a morfestratigrafia desses corpos sedimentares é restrita às informações obtidas por rasas sondagens à percussão referentes a Silva (1987). Nesse sentido, o objetivo do presente artigo foi caracterizar a arquitetura sedimentar das cristas de praia do setor meridional do complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul por meio da descrição e interpretação das seções GPR e sondagem à percussão e identificar as idades absolutas a partir de LOE. Este trabalho buscou a integração de dados geocronológicos e de radarfácies, visando à investigação da evolução Quaternária da respectiva planície costeira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados topográficos

O trabalho foi concentrado em um transecto que corta grande parte da planície de aproximadamente 5 km (Fig. 2). Primeiramente foi realizada topografia utilizando *Diferencial Global Position System* (DGPS) de dupla frequência em modo cinemático, com auxílio de veículo tracionado (Fig. 3D). Os dados altimétricos foram corrigidos a partir de dados disponíveis pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), cujo processamento foi realizado no programa GTR-Processor 2.87.

Figura 1. Área de estudo e contextualização geomorfológica.

Figura 2. Localização da aplicação dos métodos utilizados sobre a planície de cristas de praia pleistocênicas. Nos pontos L (1-6) foram adquiridas seções do Radar de Penetração do Solo com antena de 400 MHz, sondagens e amostras para datação. Notar a estreita barreira frontal holocênica, truncando os corpos lagunares.

Sondagem e descrição sedimentar

Foram realizadas sondagens à percussão com auxílio de torre de sondagem em cinco pontos desse transecto na planície de cristas de praia, onde foram recuperados testemunhos entre 2,5 e 3,0 m de profundidade (Figs. 3E e F). Estes foram devidamente descritos considerando granulometria, cor, bioturbação e percentual de carbonato. Apesar da descrição visual, foram coletadas amostras para análise granulométrica por peneiramento a seco de acordo com as etapas descritas em Muehe (2007).

Dados geofísicos – Radar de Penetração do Solo

Para o levantamento da arquitetura interna da sucessão sedimentar, foi utilizado um sistema GPR modelo SIR 3000, com antenas de 200 e 400 MHz, cuja aquisição foi realizada no modo *common-offset*, que consiste em uma única antena de transmissão e recepção (Figs. 3A e B). As aquisições com antena de 400 MHz foram feitas sobre os mesmos pontos de sondagem e coleta das amostras para datação. A aquisição com antena de 200 MHz foi realizada em um trecho da planície costeira, visando à identificação da espessura

das camadas sedimentares das cristas de praia, uma vez que essa frequência permite maior penetração que a primeira. Para a correção do perfil de velocidade, também foi realizado aquisição *Common-Mid-Point* (CMP) com antena de 80 MHz (Fig. 3C).

Em laboratório, as seções GPR foram processadas no *software* RADAN 6.6®, que tem como base os princípios da sismoestratigrafia (Neal 2004). Primeiramente realizou-se a correção topográfica. Os seguintes passos foram a utilização do filtro passa-banda, aplicação de ganho (uma vez que o sinal tende a ser progressivamente atenuado), filtros espaciais (para remoção de ruídos), migração (para remoção de difrações e distorções) e correção de profundidade a partir da geração do diagrama de velocidade. O perfil pós-processado foi interpretado e redesenhado no *software* CoreDRAW X5®. A interpretação dos radarfácies foi feita considerando terminações, morfologia, mergulho e continuidade dos refletores conforme sugerido por Neal (2004).

Geocronologia

Para a obtenção das idades absolutas, foram coletadas oito amostras por meio de sondagens realizadas à percussão em cinco pontos sobre as cristas de praia em maio de 2011. Em cada tubo foram extraídas amostras relativas às fácies praiais ou eólicas. Todas têm cotas corrigidas obtidas a partir de DGPS de dupla frequência.

Das oito amostras, seis foram datadas por LOE no Laboratório Datação, Comércio e Prestação de Serviços Ltda., localizado na cidade de São Paulo. Os tubos foram abertos em ambiente de luz vermelha e os sedimentos coletados passaram por um tratamento químico com H₂O₂ (20%), HF (20%) e HCl (10%). Posteriormente as amostras foram secas e peneiradas separando uma fração granulométrica na faixa de 100 a 160 µm, obtendo assim uma quantidade de grãos de quartzo isentos de materiais orgânicos e com granulometria bem homogênea.

As idades obtidas por LOE são extraídas a partir da equação (1). A Dose Equivalente (DE) corresponde à radiação ionizante derivada do decaimento de isótopos de Urânio, Tório e Potássio e ainda a radiação cósmica adquirida durante o tempo de soterramento. Logo, se é conhecida a dose anual dessa radiação ionizante, tem-se a idade da amostra.

$$\text{Idade: } \frac{\text{Dose Equivalente (DE)}}{\text{Dose Anual}} \quad (1)$$

As idades foram analisadas considerando as etapas do Protocolo *Single-Aliquot Regenerative Dose* (SAR), formalizados por Murray e Wintle (2000). Esse procedimento

envolve a determinação da DE utilizando a abordagem da alíquota única, bem como o método de regeneração total nas amostras. Para cada alíquota produz-se uma DE e idade, sendo possível produzir um histograma e interpretar a variação na amostragem.

Nos mesmos tubos de sondagem, também foram coletadas duas amostras de areia com concentração de matéria orgânica para datação por radiocarbono (AMS), que foram enviadas para o Laboratório Beta Analytic Inc., localizado em Miami, nos Estados Unidos.

RESULTADOS

Perfis de GPR

O CMP realizado sobre as cristas de praia foi direcionado para a correção da profundidade (Neal 2004) dos demais perfis de radar realizados na área de investigação da planície. O diagrama de velocidade variou entre 0,15 m/ns até 0,6 m/ns (Fig. 4). A quebra abrupta do perfil de velocidade que ocorre a aproximadamente 60 n/s reflete o contraste entre areia seca e areia saturada. Esses resultados mostram-se coerentes para o caso de sedimentos arenosos, conforme apontado por Nielsen *et al.* (2009).

A seção GPR obtida com antena de 200 MHz (Fig. 2) permitiu a identificação das principais unidades deposicionais das cristas de praia, interpretadas a partir da descrição das radarfácies f1, f2, f3 e f4. A estimativa da espessura do pacote sedimentar a partir do ajuste de profundidade com o CMP foi de cerca de 8 m (Fig. 5).

A radarfície f1 apresenta boa continuidade, geometria de refletores subparalelo, forma planar, terminação concordante e espessura entre 1,5 e 2,0 m (Fig. 5). Essa radarfície foi interpretada como de capeamento eólico sobre as cristas de praia. Esse tipo de depósito eólico com essa característica de arquitetura interna foi identificado por Caldas *et al.* (2006), Rodriguez e Meyer (2006), Buynevich (2006) e Costas e FitzGerald (2011). Já nas planícies costeiras do Sul do Brasil, essa radarfície apresenta configuração curvada, conforme identificaram Barboza *et al.* 2009, Barboza *et al.* 2011 e Barboza *et al.* 2013.

A radarfície f2 é definida por refletores contínuos, de alta amplitude. Nessa unidade foi identificada configuração interna de fácies subparalela e inclinadas com significativo gradiente e mergulho em direção ao mar, indicando respectivamente os elementos morfológicos de berma e face de praia. Esses refletores indicam uma configuração progradante, com terminação em *downlap* sendo interpretados como zona de estirânico (*foreshore*). Essa unidade apresenta cerca de 3 m de espessura.

Figura 3. (A) Aquisição de linha de Radar de Penetração do Solo com antena de 200 MHz. (B) Aquisição de linha de Radar de Penetração do Solo com antena de 400 MHz. (C) Obtenção de *Common-Mid-Point* com antena de 80 MHz. (D) Utilização de *Diferencial Global Position System* em modo cinemático para obtenção de topografia. (E) Tubos de 6 m utilizados na sondagem. (F) Realização da sondagem à percussão.

Figura 4. Análise de velocidade com base no *Common-Mid-Point* obtido na área de estudo com antena de 80 MHz.

A radarfície f3 caracteriza-se por refletores pouco contínuos, de geometria ondulada, com padrão côncavo-convexo, provavelmente refletindo estruturas tipo *hummockys*. Essa radarfície foi interpretada como de antepraia superior. De acordo com Tamura *et al.* (2008), esse padrão mais complexo está associado à migração de barras na zona submarina. Essa unidade apresenta em média 2 m de espessura.

A radarfície f4 compreende refletores contínuos, com geometria de subparalela à curvada com baixo gradiente. Foi identificado terminação em *downlap* com suave mergulho em direção ao mar. Essa radarfície foi interpretada como de ambiente subaquoso relativo ao ambiente de antepraia inferior (Fig. 5).

Segundo Tamura *et al.* (2008), não há um critério bem estabelecido para a distinção entre antepraia superior e inferior, porém esta última tende a apresentar acamamentos mais suaves em função do decréscimo energético do ambiente. As radarfícies f3 e f4 também foram similarmente interpretadas em Dillenburg *et al.* (2011), Silva *et al.* (2010) e Fracalossi *et al.* (2010).

A aquisição de linhas GPR com antena de 400 MHz sobre os pontos de sondagem permitiu identificar as radarfícies f1, f2 e f3, bem como os limites entre elas devido ao detalhamento proporcionado pela frequência dessa antena (Fig. 6). Nesse sentido, foi possível identificar as profundidades das amostras retiradas para datação em relação à fácies deposicional correspondente. As amostras L1a e L6a estão relacionadas a radarfície f1 de capeamento eólico. Já as amostras L1b e L4a estão associadas à radarfície f2 e correspondem às unidades deposicionais da zona de estrâncio. As amostras L3a e L5a foram consideradas como sendo no limite entre as radarfícies f1 e f2 (Fig. 6).

Figura 5. Perfil de Radar de Penetração do Solo realizado com antena de 200 MHz.

Figura 6. Perfis de radar com antena de 400 MHz sobre os pontos de sondagem e datação.

Nos perfis L3 e L4 o limite entre as unidades f1 e f2 é concordante com uma camada cujo sinal geofísico é atenuado em função do acúmulo de matéria orgânica entre 2 e 3 m de profundidade, verificado na descrição dos testemunhos. Esse material refere-se ao horizonte B espódico (AGEITEC 2013), contido nas cristas de praia, também conhecido como espodossolo. Nessas camadas estão localizadas as amostras AMS-1 e AMS-4 (Fig. 7).

Descrição sedimentar

Os testemunhos apresentam entre 2,3 e 3,0 m, com granulometria variando de areia grossa à fina. Em todos os testemunhos há uma gradual mudança na coloração. Próximo ao topo as areias são de cor branca à marrom claro, e em direção à base o acúmulo de matéria orgânica torna os sedimentos mais coesos e de coloração entre marrom escuro a preto. Esses níveis são identificados nos perfis de radar devido à atenuação do sinal geofísico, conforme identificado na Fig. 7. Os trechos de maior compactação representaram um obstáculo à continuação do testemunho à percussão, o que explica à pequena recuperação dos tubos. Cabe ressaltar que nenhum dos testemunhos apresentou vestígio de conchas, raízes e madeira.

De acordo com a espessura dos depósitos identificados nos perfis de radar, foi possível correlacionar a descrição sedimentar com as unidades deposicionais que caracterizam

Figura 7. Descrição granulométrica e interpretação das fácies sedimentares. Os testemunhos foram nivelados em relação ao nível médio do mar e correlacionados.

as cristas de praia. As fácies eólicas são predominantemente caracterizadas por um pacote de areia média, moderadamente selecionada. Já as fácies praiais apresentam maior variabilidade granulométrica e de selecionamento, intercalando camadas de areias grossas pobremente selecionadas com areias médias e finas bem selecionadas. Isso provavelmente reflete a variabilidade energética do ambiente praial.

O auxílio dos perfis de radar foi o que de fato possibilitou a identificação sedimentar dessas unidades, uma vez que o caminho inverso, partindo da análise sedimentar para definição dos depósitos, não permitiria tal correlação de forma segura. Apesar da análise granulométrica, padrão de assimetria e grau de seleção serem constantemente utilizados em ambientes modernos de interação praia-duna para diferenciação de ambos (Sherman & Bauer 1993), a análise granulométrica pode não ser suficiente para caracterização das respectivas fácies nas cristas de praia. De acordo com Otvos (2000) e Tamura (2012), os sedimentos do ambiente praial podem sofrer pouco transporte pela ação do vento e consequentemente menor selecionamento, resultando em pouca diferenciação sedimentar entre ambos os depósitos.

A análise granulométrica nos testemunhos não mostrou padrão granodécrescente e, ao comparar as amostras de fácies

eólicas e praiais, estas apresentaram significativa dispersão entre os valores estatísticos granulométricos. Não foi verificada a relação entre a assimetria negativa e maior grau de seleção dos sedimentos eólicos em comparação à tendência oposta dos sedimentos praiais. Ainda assim os sedimentos eólicos mostraram menor variabilidade em termos de grau de seleção (Fig. 8).

Geocronologia

Os resultados das datações confirmaram a origem pleistocênica das cristas de praia, mostrando idades em torno de 80.000 anos A.P. (Tab. 1). As amostras L1a e L1b apresentaram DE relativamente semelhante, resultando em uma idade de 83.000 ± 8.500 e 84.000 ± 11.700 anos, respectivamente, apresentando-se coerentes em termos estratigráficos.

A amostra L1b apresentou um desvio padrão entre as doses acumuladas para cada alíquota igual a 5,05 Gy, que, segundo Clarke *et al.* (1999), seria o limite para amostras efetivamente sem sinal residual. Já a amostra L1a obteve um desvio padrão igual a 9,17 Gy, o que poderia indicar algum sinal residual e consequentemente uma idade superestimada. Porém, ela obteve uma idade mais nova que a L1b, conforme o esperado e, nesse sentido, esse desvio padrão acima de 5 Gy pode estar relacionado ao número reduzido

Figura 8. Valores de assimetria e grau de seleção das amostras coletadas, diferenciadas por sedimentos eólicos e praias.

de alíquotas e não ao fato de a amostra não estar efetivamente zerada (Tab. 2).

A amostra L3a obteve uma idade igual a 87.000 ± 8.000 anos e um desvio padrão entre as DE igual a 3,18 Gy, significando uma boa amostra para datação. Embora a idade apresentada seja mais antiga que as amostras L1a e L1b, as DE são relativamente próximas entre elas. Ainda assim, apesar dessa inversão em relação à amostra L1, deve-se ressaltar que a margem de erro foi de 8.000 anos.

As amostras L4a e L5b apresentaram idades 75.000 ± 12.000 anos e 81.000 ± 10.000 , respectivamente, e um desvio padrão em torno de 7 Gy, indicando possível luminescência residual. Contudo, considerando a margem de erro da idade das amostras, os resultados contêm coerência cronológica. Finalmente a amostra L6a apresentou idade equivalente a 80.700 ± 11.000 . Esse resultado também é considerado satisfatório em função do baixo desvio padrão encontrado para as DE, em torno de 3 Gy.

As amostras AMS-1 e AMS-4 indicaram idades superiores à 43.500 A.P., ou seja, estão além do alcance do método de datação por radiocarbono, corroborando a idade Pleistocênica das cristas. Em função dessas idades, esses resultados não foram calibrados em relação ao efeito reservatório.

DISCUSSÕES

Arquitetura sedimentar e gênese das cristas de praia

As radarfácies f1, f2, f3 e f4 compõem uma sequência regressiva de barreira costeira, com cerca de 8 m de

espessura (Kraft & Chrzastowski 1985, Roy *et al.* 1994). Essa sequência é composta por refletores de capeamento eólico, pós-praia, zona de estirância, antepraia superior e antepraia inferior. Essa configuração representa a progressão da linha de costa, onde cada crista praiar representa uma paleopraia.

A morfologia dos refletores de estirância com mergulho em direção ao mar e a ausência de estruturas com mergulho em direção ao continente refletem o processo de gênese a partir do modelo de incorporação de berma, considerado o mais comum e aceito para a explicação da formação das cristas de praia (Tamura 2012). As barras submarinas comuns na antepraia superior, identificadas na radarfície f3, tendem a ser transportadas em direção à praia pelas ondas de tempo bom, onde os sedimentos são incorporados à face praiar pela ação do espalhamento. A incorporação da berma gera progressão e a vegetação tende a colonizar o pós-praia que retém os sedimentos transportados pelo vento, formando o capeamento eólico caracterizado pela radarfície f1. O perfil topobatimétrico da praia do atual delta do rio Paraíba do Sul pode ser considerado como um análogo moderno das cristas em relação às unidades deposicionais encontradas nos perfis de GPR, conforme mostra a Fig. 9.

Datação absoluta das cristas de praia pelo método LOE (Protocolo SAR)

De maneira geral, as amostras datadas por LOE cujos métodos foram o Protocolo SAR mostraram resultados satisfatórios, mesmo sendo observadas algumas limitações. Considerando a baixa dispersão dos valores de DE encontradas nas alíquotas das amostras L1b, L3a e L6a (Fig. 10), estima-se que as idades entre 87.000 e 80.000 anos sejam as que representem de forma mais segura as idades absolutas da planície. Os resultados geocronológicos corroboram o modelo de Silva (1987), que sugeriu que esses depósitos teriam se formado em condições de nível de mar baixando, após o máximo transgressivo ocorrido há 120.000 anos A.P. Na verdade, esta investigação marca um intervalo temporal mais restrito em relação à gênese dessas feições, que estariam relacionadas ao estágio isotópico 5a (~ 85.000 anos A.P.).

Apesar da baixa dispersão das DE de algumas amostras, um maior número de alíquotas poderia ser utilizado dependendo da variação da amostragem. Nas amostras L1a, L4a e L5a, a dispersão das DE maiores que 5 Gy não necessariamente indicam uma luminescência residual, mas provavelmente o número de alíquotas analisadas não foi suficiente. Considerando ainda que as idades são pleistocênicas, a margem de erro foi de até 12.000 anos para essas amostras, o que explica algumas inversões de idade, considerando o padrão cronológico decrescente em direção ao mar. Nesse sentido,

Tabela 1. Idades absolutas obtidas por Luminescência Opticamente Estimada e ^{14}C Accelerator mass spectrometry

Amostras	Prof. (m)	Elevação (acima do NMM)	Material	Depósito	Idade
L1a	1,60	3,60	Quartzo	Eólico	83.000 $\pm$ 8.500
L1b	2,90	2,20	Quartzo	Praial	84.000 $\pm$ 11.700
L3a	2,00	3,30	Quartzo	Eólico	87.000 $\pm$ 8.000
L4a	2,28	2,22	Quartzo	Eólico/Praial	75.000 $\pm$ 12.000
L5a	2,18	3,12	Quartzo	Praial	81.000 $\pm$ 10.000
L6a	1,60	3,50	Quartzo	Eólico/Praial	80.700 $\pm$ 11.000
AMS-1	2,76	2,40	Matéria orgânica	Praial	>43.500 A.P.
AMS-4	2,60	1,90	Matéria orgânica	Praial	>43.500 A.P.

Tabela 2. Valores das Doses Equivalentes entre as alíquotas, dose acumulada e dose anual

De (Gy)	L1a	L1b	L3a	L4a	L5a	L6a
De (alíquota 1)	65,4	49,6	64,8	61,4	103,0	53,8
De (alíquota 2)	66,5	59,2	55,4	78,8	89,2	48,9
De (alíquota 3)	46,5	43,7	62,5	75,1	91,2	49,7
De (alíquota 4)	57,1	51,3	61,7	70	110,3	49,5
De (alíquota 5)	57,6	59	58,7	70,8	92,2	49,8
De (alíquota 6)	68,7	53,8	62,5	64,7	97,5	42,7
De (alíquota 7)	40,7	52,3	61,3	57,8	97,1	48,1
De (alíquota 8)	57,6	51	65,1	78	101,2	–
De (alíquota 9)	57,5	–	–	70,9	–	–
Desvio Padrão	9,17	5,05	3,18	7,24	7,01	3,29
	L1a	L1b	L3a	L4a	L5a	L6a
Dose acumulada (Gy)	57,6	51,3	60,8	78	99,2	53,8
Dose anual ($\mu\text{Gy}/\text{ano}$)	690 $\pm$ 40	610 $\pm$ 50	700 $\pm$ 30	1040 $\pm$ 150	1230 $\pm$ 170	670 $\pm$ 50
Idade	83.000 $\pm$ 8.500	84.000 $\pm$ 11.700	87.000 $\pm$ 8.000	75.000 $\pm$ 12.000	81.000 $\pm$ 10.000	80.700 $\pm$ 11.000

não houve a possibilidade de estimar uma taxa de progradação da respectiva planície.

A utilização dos perfis de radar sobre os locais de coleta das amostras permitiu a identificação da unidade deposicional a que estavam relacionadas, gerando apontamentos importantes. Primeiramente, os registros geofísicos mostram que nenhuma das amostras foi retirada do ambiente de antepraia. Isso gera maior confiança para os resultados uma vez que, de acordo com Richardson (2001), ambientes de deposição subaquosos tendem a não zerar o sinal de luminescência dos sedimentos, podendo gerar idades

superestimadas. De acordo com os registros geofísicos, todas as amostras são relativas às unidades de face praial e capeamento eólico onde, de acordo com os resultados das idades, verificou-se que os pacotes são contemporâneos, podendo servir igualmente como ambiente para coleta de LOE. Argylan *et al.* (2005) ressaltaram a importância de considerarem o ambiente deposicional das amostras no caso das cristas de praia, indicando que os sedimentos de face praial e de dunas são praticamente, se não completamente, zerados, significando uma emissão de LOE residual menor que 100 anos.

Figura 9. Perfis topobatimétricos de praia no delta atual do rio Paraíba do Sul (Rocha 2009), com as radarfácies identificadas nas respectivas unidades deposicionais.

Figura 10. Dispersão das Doses Equivalentes das amostras datadas por Luminescência Opticamente Estimada.

Considerando essa discussão acerca da qualidade dos resultados e da análise das características do sinal de luminescência da amostra, os resultados das datações por AMS tornam-se bastante relevantes por corroborar a idade Pleistocênica da planície, apesar de a abrangência temporal do método ser insuficiente. De acordo com Duller (2004), a interpretação da variação da amostragem das DE a partir da utilização do protocolo SAR, associado a datações por C^{14} como forma de controle, possibilita uma interpretação mais segura das idades obtidas por métodos de luminescência.

Cristas de praia como indicadores de paleoníveis do mar

Uma das principais finalidades das investigações relativas às cristas de praia é a reconstrução dos paleoníveis do

mar (Nielsen *et al.* 2006). Apesar de o nível altimétrico das cristas geralmente ser utilizado como um indicador próximo ao nível médio do mar, uma vez que essas feições tendem a ser formadas a partir da faixa de espraçamento da ação das ondas, o capeamento eólico tende a mascarar a posição dessa faixa deposicional (Otvos 2000, Pedoja *et al.* 2011).

De acordo com Tamura (2012), os dois principais indicadores de paleoníveis do mar nas cristas são o contato entre as unidades de capeamento eólico e face praial e o contato entre esse último e a unidade de antepraia superior. O primeiro indica o nível de espraçamento da ação das ondas no ambiente praial e o segundo é indicativo do nível de baixa-mar, apesar de este poder variar em relação à energia das ondas.

No caso da planície costeira Pleistocênica de Quissamã, o contato entre as unidades de radarfácies f2 e f3 não foi identificado em todos os pontos de amostragem devido à penetração da antena de radar, conforme mostra a Figura 11. Já o contato entre as radarfácies f1 e f2 aparece entre 3,5 e 2,5 metros acima do nível médio do mar atual. A informação altimétrica desse contato nos pontos L1, L3 e L4 pode refletir o comportamento regressivo da linha de costa no estágio isotópico 5a, associado à diminuição do nível do mar e à possível contribuição de aporte sedimentar do rio Paraíba do Sul, quando este provavelmente desaguava mais próximo da respectiva planície (Silva 1987). Por outro lado, o contato entre os pontos L5 e L6, cerca de 0,6 m acima dos demais, pode refletir oscilações secundárias do nível do mar neste período. Porém, considerando a possível margem de erro da aquisição altimétrica do DGPS em modo cinemático e a ausência de informações estratigráficas mais abrangentes, esse apontamento apresenta pouca sustentação.

Registros sedimentares e estratigráficos que possam gerar curvas de oscilações pleistocênicas são geralmente

Figura 11. Contatos deposicionais das cristas de praia em relação ao nível médio do mar.

raros, uma vez que existe a dificuldade de preservação desses indicadores associada ao efeito das subseqüentes elevações do nível do mar. Nesse sentido, indicadores deposicionais pleistocênicos de paleolinhas de costa são menos comuns do que os holocênicos. Na costa brasileira, a maioria desses depósitos está relacionada ao estágio isotópico 5e (120.000 anos), quando o nível do mar teria alcançado aproximadamente cotas entre 6 e 8 m acima do nível médio do mar atual (Barreto *et al.* 2002, Tomazelli & Dillenburg 2007, Suguio *et al.* 2011).

Recentemente Suguio *et al.* (2011) identificaram registros do estágio isotópico 5a (~ 85.000 anos) e 5c (~ 105.000 anos) a partir de datações por LOE e termoluminescência (TL) em terraços marinhos preservados na forma de falésias, cuja base geralmente é limitada pelo grupo Barreiras, ao longo do litoral do nordeste. A maioria das idades pleistocênicas registradas está acima do nível médio do mar atual, entre 3,0 e 7,5 m. No caso desses registros, considerados como indicadores erosivos de paleolinha de costa (Pedoja *et al.* 2011), Barreto *et al.* (2002) e Suguio *et al.* (2011) consideraram ainda o efeito de soerguimento de até 14 m após a formação desses depósitos.

Registros de paleoindicadores deposicionais de linha de costa, como barreiras costeiras (Pedoja *et al.* 2011), são identificados no litoral sul. A barreira III (Villwock *et al.* 1986) é considerada um dos registros mais preservados do último Interglacial, associada ao estágio isotópico 5e (Tomazelli & Dillenburg 2007). Ainda assim algumas datações absolutas por TL forneceram idades entre 109.000 e 85.000 anos em fácies de depósitos praias e no contato desse último com o pacote eólico (Poupeau *et al.* 1988, Buchmann & Tomazelli 2003). Na mesma região, Lessa *et al.* (2000), a partir de

registros estratigráficos, também verificaram um provável depósito remanescente do estágio isotópico 5a ou 5c. Apesar da ocorrência de registros com idades semelhantes à da planície de cristas de praia de Quissamã, a posição altimétrica dos depósitos é variável ao longo do litoral brasileiro, o que dificulta a caracterização do nível médio do mar nesse período do Pleistoceno.

CONCLUSÕES

A estrutura interna das cristas de praia revelada pelos perfis de radar de penetração do solo (GPR) possibilitou a identificação de radarfácies que compõem uma sequência de barreira regressiva ou progradante (Otvos 2012) com espessura deposicional em torno de 8 m. A configuração dos refletores, sobretudo da radarfície de pós-praia e estrôncio, sugere a gênese dessas feições associada à incorporação de bermas devido à ação de espraiamento das ondas (Tamura 2012).

A planície de cristas de praia apresentou idades absolutas referentes ao estágio isotópico 5a (~ 85.000 anos) pelo método LOE. De maneira geral, esses depósitos apresentam potencial para datação pelo mencionado método, porém, apesar da baixa dispersão das DE de algumas amostras, outras deveriam ser analisadas com um maior número de alíquotas no método do Protocolo SAR.

A utilização dos perfis de GPR integrada à geocronologia por LOE permitiu identificar os ambientes deposicionais referentes às amostras datadas, considerado importante para avaliação dos resultados decorrentes dos métodos de luminescência. As amostras das fácies eólicas e praias foram contemporâneas, e ambas as unidades tendem a ter a luminescência prévia zerada durante o processo deposicional.

A integração dos métodos também permitiu a identificação dos contatos entre o capeamento eólico e pós-praia, uma vez que a análise sedimentar não apresentou uma diferenciação clara entre os dois depósitos. Esse contato está entre 3,5 e 2,5 m acima do nível médio atual, podendo ser correlacionado com outros paleoindicadores de linha de costa no litoral do Nordeste e do Sul do Brasil, entre os estágios isotópicos 5a e 5c. Contudo, a possibilidade de soerguimento entre os depósitos, a dificuldade e a inexatidão em correlacionar unidades deposicionais com o nível médio do mar são fatores que dificultam a investigação do comportamento do nível do mar no Pleistoceno.

O presente trabalho teve como finalidade a avaliação da integração desses métodos como forma de investigar a reconstrução Quaternária de planícies costeiras.

Nesse sentido, a identificação das unidades deposicionais a partir de perfis de radar e a correlação com as idades analisadas por métodos de luminescência e ^{14}C AMS, cujas amostras foram obtidas por sondagem, resultaram em importantes discussões acerca da gênese e evolução das cristas de praia, bem como em discussões acerca das potencialidades e limitações na associação entre os métodos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense (UFF) pelos recursos financeiros, equipamentos de pesquisa e laboratórios.

REFERÊNCIAS

- AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2013. Solos tropicais. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais.html. Acessado em 10 de março de 2013.
- Almeida M.S. 1997. *Evolução geológica da Lagoa de Carapebus – Macaé – RJ*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 118 p.
- Argyilan E.P., Forman S.L., Johnston J.W., Wilcox D.A. 2005. Optically stimulated luminescence dating of late Holocene raised strandplain sequences adjacent to Lakes Michigan and Superior, Upper Peninsula, Michigan, USA. *Quaternary Research*, **63**:122-135.
- Banerjee D., Hildebrand A.N., Murray-Wallace C.V., Bourman R.P., Brooke B.P., Blair M. 2003. New quartz SAR-OSL ages from the stranded beach dune sequence in south-east South Australia. *Quaternary Science Reviews*, **22**:1019-1025.
- Barboza E.G., Dillenburg S.R., Rosa M.L.C.C., Tomazelli L.J., Hesp P.A. 2009. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, **SI 56**:579-583.
- Barboza E.G., Rosa M.L.C.C., Dillenburg S.R., Tomazelli L.J. 2013. Preservation Potential of Foredunes in the Stratigraphic Record. *Journal of Coastal Research*, **SI 65**:1265-1270.
- Barboza E.G., Rosa M.L.C.C., Hesp P.A., Dillenburg S.R., Tomazelli L.J., Ayup-Zouain R.N. 2011. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) – a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research*, **SI 64**:646-650.
- Barreto A.M.F., Bezerra F.H.R., Suguio K., Tatum S.H., Yee M., Paiva R.P., Munita C.S. 2002. Late Pleistocene marine terrace deposits in northeastern Brazil: sea-level change and tectonic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **179**:57-69.
- Bristow C.S. & Pucillo K. 2006. Quantifying rates of coastal progradation from sediment volume using GPR and OSL: the Holocene fill off Guichen Bay, South-east South Australia. *Sedimentology*, **53**:769-788.
- Buchmann F.S.C. & Tomazelli L.J. 2003. Relict nearshore shoals of RS, southern Brazil: origin and effects on nearby modern beaches. *Journal of Coastal Research* (Special Issue), **35**:318-322.
- Buynevich I.V. 2006. Coastal Environmental Changes Revealed in Geophysical Images of Nantucket Island, Massachusetts, U.S.A. *Environmental & Engineering Geoscience*, **3**:227-234.
- Caldas L.H.O., Oliveira J.G., Medeiros W.E., Statterger K., Vital H. 2006. Geometry and evolution of Holocene transgressive and regressive barriers on the semi-arid coast of NE Brazil. *Geo-Marine Letters*, **26**:249-263.
- Clarke M.L., Rendell H.M., Wintle A.G. 1999. Quality assurance in luminescence dating. *Geomorphology*, **29**:173-185.
- Costas S. & FitzGerald D. 2011. Sedimentary architecture of a spit-end (Salisbury Beach, Massachusetts): The imprints of sea-level rise and inlet dynamics. *Marine Geology*, **284**:203-216.
- Dias G.T.M. & Kjerfve B. 2009. Barrier and Beach Ridge Systems of Rio de Janeiro Coast. In: Dillenburg S. & Hesp P. (eds.) *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, v. 107, p. 225-248.
- Dillenburg S.R., Barboza E.G., Hesp P.A., Rosa M.L.C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, **SI 64** (ICS 2011 – Proceedings):651-655.
- Dillenburg S.R. & Hesp P. (eds.) 2009. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, v.107, 396 p.
- Duller G.A.T. 2004. Luminescence dating of Quaternary sediments: recent advances. *Journal of Quaternary Science*, **19**(2): 183-192.
- Fracalossi F.G., Barboza E.G., Rosa M.L.C., Silva A.B. 2010. O registro em subsuperfície da barreira pleistocênica entre Osório e Tramandaí (RS). *GRAVEL*, **8**(1):21-31.
- Garrison Jr. J.R., Williams J., Miller S.P., Weber E.T., Mcmechan G., Zeng X. 2010. Ground-penetrating radar study of North Padre Island: implications for barrier island internal architecture, model for growth of progradational microtidal barrier islands, and Gulf of Mexico sea-level cyclicity. *Journal of Sedimentary Research*, **80**:303-319.
- Hein C.J., Fitzgerald D.M., Cleary W.J., Albernaz M.B., Menezes J.T., Klein A.H.F. 2012. Evidence for a transgressive barrier within a regressive strandplain system: Implications for complex coastal response to environmental change. *Sedimentology*, **60**(2):465-502.
- Hesp P.A., Dillenburg S.R., Barboza E.G., Tomazelli L.J., Ayup-Zouain R.N., Esteves L.S., Gruber N.S., Toldo-Jr. E., Tabajara L.L.C., Clerot L.C.P. 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **77**(3):493-508.
- Komar P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 429 p.
- Kraft J.C. & Chrzastowski M.J. 1985. Coastal Stratigraphic Sequences. In: Davis Jr. A.R. (eds.) *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer-Verlag, p. 625-663.

- Lessa G.C., Angulo R.J., Giannini P.C., Araújo A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. *Marine Geology*, **165**:87-108.
- Martin L., Bittencourt A.C.S.P., Vilas Boas G.S. 1982. Primeira ocorrência de corais pleistocênicos da costa brasileira – Datação do máximo da Penúltima Transgressão. *Revista Ciências da Terra*, **3**:16-17.
- Martin L., Suguio K., Flexor J.M., Dominguez J.M.L. 1984. Evolução da planície costeira do rio Paraíba do Sul (RJ) durante o quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: 33º Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, v. 33, p. 84-97.
- Muehe D. 2007. Geomorfologia costeira. In: Guerra A.J.T. & Cunha S.B. (eds.) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 472 p.
- Murray A.S. & Wintle A.G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, **32**:57-73.
- Murray-Wallace C.V., Banerjee D., Bourman R.P., Olley J.M., Brooked B.P. 2002. Optically stimulated luminescence dating of Holocene relict foredunes, Guichen Bay, South Australia. *Quaternary Science Reviews*, **21**:1077-1086.
- Neal A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, **66**:261-330.
- Nielsen A., Murray A.S., Pejrup M., Elberling B. 2006. Optically stimulated luminescence dating of a Holocene beach ridge plain in Northern Jutland, Denmark. *Quaternary Geochronology*, **1**:305-312.
- Nilsen L., Moller I., Nielsen L.H., Johannessen P.N., Pejrup M., Andeersen T.J., Korshoj J.S. 2009. Integrating ground-penetrating radar and borehole data from a Wadden Sea barrier island. *Journal of Applied Geophysics*, **68**:47-59.
- Otvos E.G. 2000. Beach ridges – definitions and significance. *Geomorphology*, **32**:83-108.
- Otvos E.G. 2005. Numerical chronology of Pleistocene coastal plain and valley development: extensive aggradation during glacial low sea-levels. *Quaternary International*, **135**:91-113.
- Otvos, E.G. 2012. Coastal barriers – Nomenclature, processes and classification issues. *Geomorphology*, **139-140**:39-52.
- Pedroja K., Husson L., Regard V., Cobbold P.R., Ostanciaux E., Johnson M.E., Kershaw S., Saillard M., Martinod J., Furgerot L., Weill P., Delcaillau, B. 2011. Relative sea-level fall since the last interglacial stage: Are coasts uplifting worldwide? *Earth-Science Reviews*, **108**:1-15.
- Poupeau G., Soliani Jr., Rivera A.E., Loss E.L., Vasconcellos M.B.A. 1988. Datação por termoluminescência de alguns depósitos arenosos costeiros do último ciclo climático no Nordeste do RS, Brasil. *Pesquisas*, **21**: 25-47.
- Psuty N.P. 1965. Beach-ridge development in Tabasco, México. *Annals Association of American Geographers*, **55**:112-124.
- Reimann T., Naumann M., Tsukamoto S., Frechen M. 2010. Luminescence dating of coastal sediments from the Baltic Sea coastal barrier-spit Darss-Zingst, NE Germany. *Geomorphology*, **122**:264-273.
- Richardson C.A. 2001. Residual luminescence signals in modern coastal sediments. *Quaternary Science Reviews*, **20**:887-892.
- Rink G.I. & López W.J. 2010. OSL-based lateral progradation and aeolian sediment accumulation rates for the Apalachicola Barrier Island Complex, North Gulf of Mexico, Florida. *Geomorphology*, **123**:330-342.
- Rocha T.B. 2009. Morfodinâmica costeira e gestão de orla marítima em costa sob influência fluvial: Borda meridional do atual delta do Rio Paraíba do Sul (RJ). MS Dissertation, Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 140 p.
- Rodriguez A.B. & Meyer C.T. 2006. Sea-level variation during the holocene deduced from the morphologic and stratigraphic evolution of Morgan Peninsula, Alabama, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, **76**:257-269.
- Roy P.S., Cowell P.J., Ferland M.A., Thom B.G. 1994. Wave-dominated coasts. In: Carter R.W.G. & Woodroffe C.D. (eds.) *Coastal evolution: late quaternary morphodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 121-186.
- Schrott L. & Sass O. 2008. Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. *Geomorphology*, **93**:55-73.
- Sherman D.J. & Bauer O.B. 1993. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, **17**:413-447.
- Silva A.B., Barboza E.G., Rosa M.L.C., Fracalossi F.G. 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da planície costeira sul de Santa Catarina. *GRAVEL*, **8**(1):1-7.
- Silva C.G. 1987. Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia, RJ. MS Dissertation, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 116 p.
- Suguio K., Bezerra F.H.R., Barreto A.M.F. 2011. Luminescence dated Late Pleistocene wave-built terraces in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **83**(3):907-920.
- Tamura T. 2012. Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. *Earth-Science Reviews*, **114**:279-297.
- Tamura T., Murakami F., Nanayama F., Watanabe W., Saito Y. 2008. Ground-penetrating radar profiles of Holocene raised-beach deposits in the Kujukuri strand plain, Pacific coast of eastern Japan. *Marine Geology*, **248**:11-27.
- Tomazelli L.J. & Dillenburg S.R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. *Marine Geology*, **244**:33-45.
- Van Dam R.L. 2012. Landform characterization using geophysics-Recent advances, applications, and emerging tools. *Geomorphology*, **137**:57-73.
- Villwock J.A., Tomazelli L.J., Loss E.L., Dehnhardt E.A., Horn N.O., Bachi F.A., Dehnhardt B.A. 1986. Geology of the RS coastal province. In: Rabassa J. (ed.) *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, **4**:79-97.

Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br