

A GÊNESE DE CRISTAS DE PRAIAS E DUNAS FRONTAIS

Prof. Phd. Patrick Hesp
Geography and Anthropology
Louisiana State University
pahesp@lsu.edu

RESUMO

A origem de cristas praias (beach ridges, cristas de praia) formadas em ambiente de mar aberto e de micromarés na costa australiana é revisada. Na literatura clássica, existem três teorias principais sobre a evolução dessas formas, duas sugerindo uma origem marinha, outra uma origem eólica. São apresentados dados relativos à evolução moderna de cristas de praia e dunas frontais incipientes nas regiões de Myall Lakes e Cervantes, que apóiam fortemente a hipótese de origem eólica. As dunas frontais incipientes formam-se a partir de uma diversidade de processos que conduzem à construção de rampas, terraços ou cristas, em função de taxas de progradação, tipos de cobertura vegetal, transporte de sedimentos e balanço dos processos erosivos.

Palavras chave: dunas frontais, cristas de praia, evolução de praias.

ABSTRACT

The genesis of sand “beach ridges” formed on open-ocean, microtidal Australian coasts is reviewed. Three major theories of evolution have been proposed, one suggesting a marine origine, the other an aeolian origin. Data are presented on the modern evolution of “beach ridges” and incipient foredunes at Myall Lakes, NSW, and Cervantes, WA, which strongly supports an aeolian genesis. Incipient foredunes may be initiated in a variety of ways leading to the formation of ramps, terraces or ridges depending on progradation rates, vegetation type and cover, sediment transport rates and scale of erosional processes.

Key words: foredunes, beach ridges, beaches evolution

Introdução: os modelos clássicos acerca da gênese de dunas frontais

Dunas frontais (*foredunes*, *dunes bordières*) são cristas dunares arenosas vegetalizadas formadas nos setores mais próximos do mar das faixas de pós-praia. Elas podem ser formadas em uma diversidade de ambientes litorâneos: na faixa de praia em mar aberto, baías semifechadas, estuários, lagos e lagoas (Zenkovich, 1967; Goldsmith, 1989, Nordstrom, 1992), em praticamente todos os tipos de climas, das áreas tropicais ao Ártico (e.g. Wong, 1978). Tais formas são denominadas por uma grande variedade de termos: além da terminologia “dunas frontais”, elas também têm sido chamadas de dunas embrionárias (*embryo dunes*), cristas de retenção (*retention ridges*), cristas de praia (*beach ridges*), cordões de dunas paralelas (*parallel dune ridges*) e dunas transversais (*transverse dunes*) (e.g. Hesp, 2002).

Geralmente, essas formas representam cristas convexas vegetalizadas alinhadas paralelamente à faixa de praia, separadas entre elas por depressões côncavas. No sul da Austrália, formas semelhantes a dunas frontais foram freqüentemente definidas como “cristas de praia” ou “cristas praias” (*beach ridges*), tendo sido importante o debate estabelecido acerca de suas gêneses (e.g. Davies, 1957, 1977; Bird, 1965, 1976; Mackenzie, 1958; Thom, 1965; Hesp, 1988, 1989, 2002). Esse artigo apresenta uma breve revisão acerca da gênese das cristas de praia, através da análise dos três principais modelos até hoje discutidos na literatura específica, dois deles sugerindo uma origem marinha e o terceiro, uma origem eólica.

Em 1957, Davies propôs o modelo de alternância entre erosão e deposição (*cut-and-fill process*) para a gênese de cristas praias, caracterizado pela formação de um berma em condições de clima de onda calmo (fase “deposição”) que, uma vez não erodido subseqüentemente (fase “corte” ou erosão),

* Traduzido do texto em Inglês por Vanda Claudino Sales

tornar-se-ia o núcleo inicial para a evolução de uma crista de praia. A vegetação pioneira colonizaria a crista, dessa forma atuando como uma armadilha para as areias litorâneas. Após um certo período, um novo berma poderia ser da mesma forma construído face ao primeiro e os processos iniciais repetir-se-iam.

Davies (1957) sugeriu também que as depressões entre os cordões sucessivos resultantes dessas etapas seriam gerados a partir da formação da nova crista de praia, situada inicialmente em nível relativo inferior ao da primeira crista. De acordo ainda com Davies, as cristas de praia adquiririam o seu alinhamento em função da disposição paralela da primeira crista, o que condicionaria a disposição das demais, segundo a configuração da linha de praia.

Um segundo modelo de formação de cristas de praia foi apresentado por MacKenzie (1958), que discordou do modelo de Davies (1957), por considerar que os bermas não seriam suficientemente estáveis para formar um núcleo inicial de cristas de praia. No modelo de MacKenzie (1958), dunas frontais incipientes (isto é, formas recentemente desenvolvidas, ou cristas praias) formar-se-iam em locais nos quais a vegetação litorânea pioneira – especialmente *Spinifex hirsuctus* – colonizaria a faixa de praia, fixando assim as areias que formariam a duna frontal.

MacKenzie (1958) descreveu o desenvolvimento temporal desse processo como o resultado de uma progressão morfológica, caracterizada pela formação de rampas que evoluiriam para “terraços” e em seguida para cristas de dunas frontais, à medida em que a praia era colonizada pelo rizoma das espécies vegetais fixadoras, acompanhadas simultaneamente pela deposição de areias eólicas.

Bird (1965) inicialmente concordou com a hipótese de Davies (1957) e discordou daquela de MacKenzie (1958), porém mais tarde (Bird, 1969, 1976) apresentou uma versão modificada do modelo de “erosão-deposição” (*cut-and-fill process*) para a formação de cristas de praias. Nessa versão, Bird descreveu um cenário no qual uma duna frontal formada no topo de um berma seria atacada e escarpada pela ação erosiva das ondas. Subseqüentemente, as ondas construiriam um novo berma à frente e paralelamente ao primeiro, que ficaria separado deste através de um desnível (Bird, 1976). A vegetação rasteira fixaria primeiro o berma, permanecendo desvegetalizada a depressão, até que uma nova duna frontal fosse formada. Bird considerou também que o efeito de “ataque” seria responsável pela separação das dunas em cristas paralelas e que, em ausência da fase de escarpamento, a duna frontal evoluiria até a formação de um amplo terraço litorâneo.

Essas três hipóteses acerca da evolução de cristas de praia foram amplamente aceitas, retrabalhadas ou modificadas por numerosos pesquisadores australianos (e.g. Thom, 1965; Jennings, 1959; Davies, 1977, 1980). No entanto, apesar dessa aceitação, poucas evidências acerca dos processos evolutivos de, por exemplo, acompanhamento real da evolução topográfica das formas ou da análise da estrutura interna das dunas, foram apresentadas para sustentar os modelos teóricos evolutivos em questão.

A formação das cristas de praias

Pesquisas realizadas acerca da evolução de praias, cristas de praia e dinâmica de dunas frontais (Hesp, 1982, 1983, 1989, 2002) permitiram reconhecer dois tipos principais de formação de dunas frontais incipientes. O primeiro tipo (tipo 1) acha-se associado à deposição de areias eólicas com ou a sotavento de plantas discretas (especialmente de ciclo anual). O segundo tipo (tipo 2) é relativo à deposição de areias eólicas com comunidades de plantas lateralmente contínuas (especialmente *Spinifex*). Dados associados aos dois tipos de evolução são detalhados a seguir.

Evolução do Tipo 1

Como parte de um estudo de dinâmica de vegetação costeira (Ward, 1983), foi investigada a moderna evolução de um cordão litorâneo em V ou cúspide (*cusplate foreland*) de rápida progradação em Cervantes, situado a 270 km de Perth, Austrália Ocidental. Nessa região a margem ocidental do cordão

litorâneo progradou com taxas variáveis ao longo da praia - da ordem de 2,0 a 5,2 metros por ano em média durante um período de 35 anos - resultando na formação de entre quatro e dez cordões de dunas frontais (cristas de praia) (fig. 1).

Os instrumentos de análise utilizados nesse estudo foram pares estereográficos de fotografias aéreas verticais na escala 1:2.000, recobrendo intervalos de aproximadamente cinco anos entre 1943 e 1978. Essa análise permitiu determinar o tempo decorrido entre a fase de formação de dunas frontais incipientes e de sua transformação em dunas frontais estabelecidas (colonizadas por espécies arbustivas intermediárias), bem como todo o intervalo de tempo entre dunas frontais incipientes e a evolução em direção ao mar de cristas vegetalizadas e faces praias.

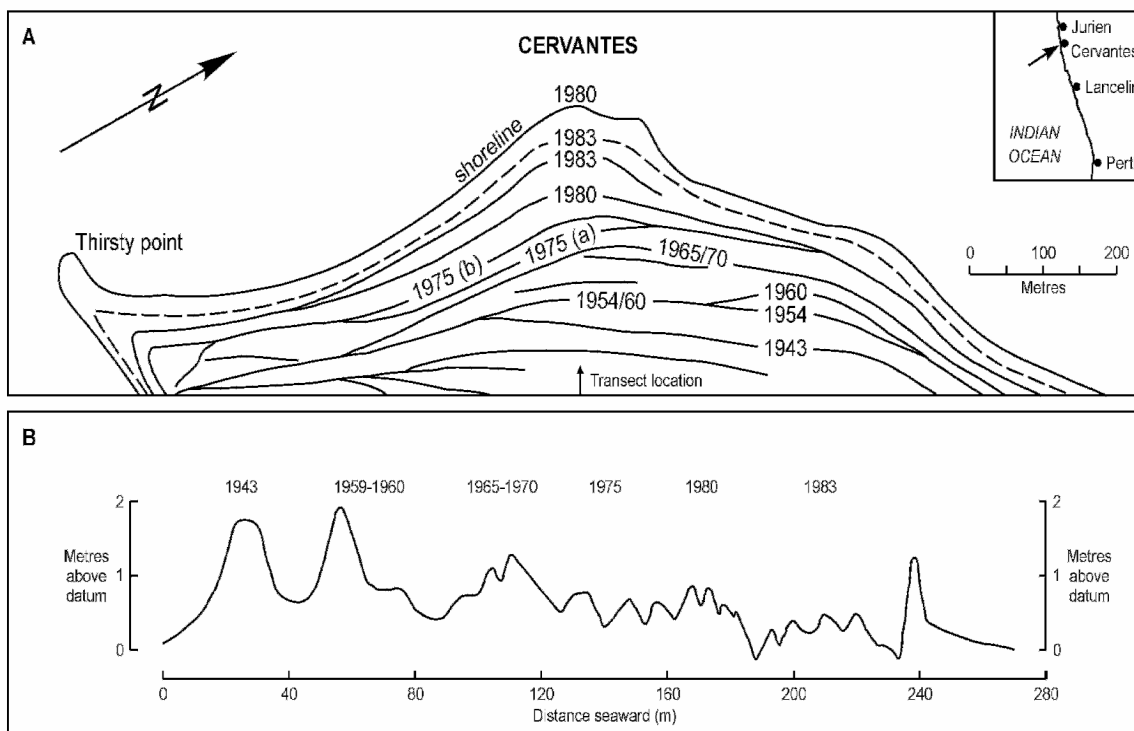


Figura 1: Perfis de Cervantes (da esquerda para a direita, os termos em inglês significam, na figura 1A: linha de costa e localização dos transectos. Na figura 1B: metros acima do datum e distância do mar em metros)

As análises das fotografias aéreas demonstram que cada duna frontal incipiente foi iniciada pelo crescimento da espécie de ciclo anual *Cakile*, que germinou na faixa de pós-praia (praia superior) no limite da zona de espraiamento (*swash*) nas marés de sizígia. Inicialmente, as espécimes de *Cakile* aprisionaram individualmente as areias, formando um amplo terraço pouco horizontalizado. Esse terraço foi gradualmente sendo colonizado pelas espécies *Spinifex longifolius* ou *Tetragomina decumbens* e, por vezes, pelas duas espécies simultaneamente.

Essa evolução do tipo 1 de dunas frontais incipientes gradualmente aumentou em tamanho em razão da deposição de areais eólicas, até que a progradação na faixa de praia subaérea induziu à formação e estabelecimento de uma nova zona discreta de *Cakile*. Ao longo do tempo, como o suprimento de areias para cada crista foi ficando reduzido em função da progradação e formação de novos cordões em direção ao mar, espécies pioneiras foram sendo substituídas pela espécies intermediárias arbustivas e arbóreas, constituindo assim uma sucessão florística bem definida (Hesp, 1988, 1989).

Evolução do Tipo 2

Diversas dunas frontais do tipo 2 foram monitoradas através da coleta de dados topográficos e fotográficos mensais durante um período de três anos no Parque Nacional de Myall Lakes, situado a 250 km de Sydney (Hesp, 1982). No início do monitoramento, a primeira duna frontal incipiente (aqui denominada de duna frontal 2) formava um baixo terraço dunar colonizado por *Spinifex sericeus*. O desnível que separava a crista, situado entre uma duna frontal antiga e a duna frontal 2, não se apresentava vegetalizado (fig. 2).

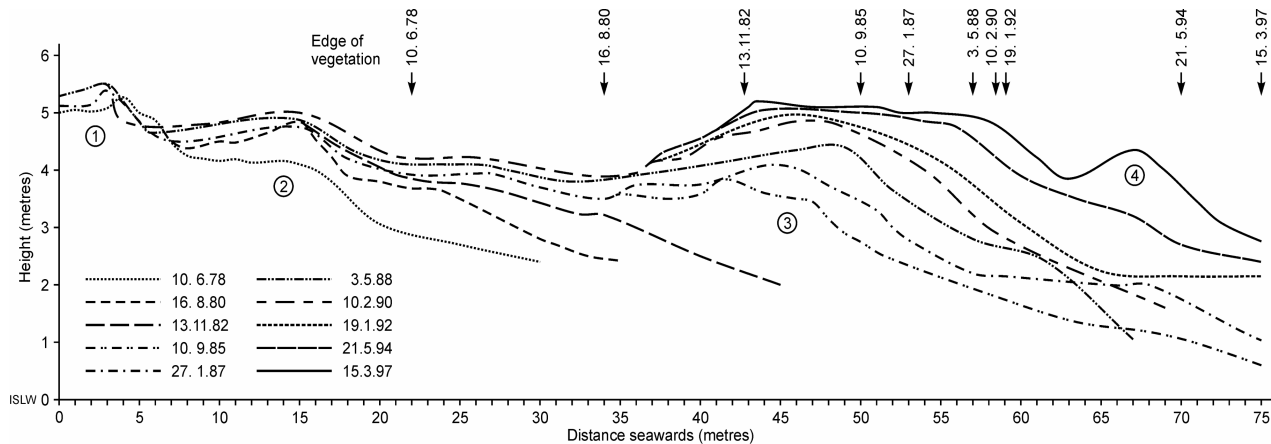


Figura 2: Perfis de Myal Lakes (da direita para a esquerda, os termos em inglês significam: nível médio do mar, altura em metros, limite de vegetação, distância do mar em metros).

Em dois outonos sucessivos (outubro-novembro), sementes de *Spinifex* foram depositadas pelo espraiamento (*swash*) das marés de sizígia na faixa de pós-praia, próximo à base da duna frontal 2. Mais de 232 processos de germinação de sementes por metro quadrado foram identificados no período. Como a vegetação precisou de quatro meses para alcançar a dimensão de espécie adulta, a crista da duna frontal 2, que apresentava a maior densidade de plantas, funcionou como o locus do máximo de deposição de areias eólicas durante o período.

Posteriormente, as sementes e as raízes aumentaram, simultaneamente com o crescimento em direção ao mar dos rizomas e estolhos de *Spinifex* na duna frontal 2, produzindo um gradual extensão dos depósitos de areias eólicas, com eventual formação de uma segunda duna frontal incipiente (duna frontal 3). A distância média obtida a partir de medições realizadas durante três anos entre a área vegetalizada e a crista do novo berma nesse sítio foi de 50 m.

Análises relativas à estrutura sedimentar interna realizadas em trincheiras construídas na área das dunas frontais monitoradas confirmaram essa gênese e esse controle deposicional (para maiores detalhes, ver Hesp, 1984, 1989, 2002). No caso da crista de duna frontal 3, a dispersão de sementes de *Spinifex* e fragmentos vegetais resultaram da ação de deposição do espraiamento (*swash*) em condições sub-horizontais (1-2°), tendo a maior ocorrência de formação de lentes tabulares sido verificada no sopé das cristas das dunas frontais na faixa de pós-praia. Os espécimes de *Spinifex*, cujo crescimento permitiu a formação da crista 3, germinaram nesse depósito mesmo. Baixos ângulos (< 13°) de laminação cruzada de origem eólica compreendendo formas lenticulares simples foram detectados no topo dos depósitos laminares gerados pelo *swash*. Essas formas lenticulares, que incluem a crista propriamente dita, foram inteiramente geradas a partir das interações aerodinâmicas da densidade dos espécimes vegetais com a distribuição e transporte de areias eólicas.

Outro modelo genético para dunas frontais e cristas de praia: discussão e conclusões

Esses dois estudos, em conjunto com evidências oriundas de vários outros sítios de monitoramentos (e.g. Hesp, 1982, 1983, 1984a, 1984b, 1989, 2002), fornecem elementos para considerar que as dunas frontais têm uma origem antes eólica do que marinha (quer seja, nessa última hipótese, por formação ou destruição de berma). Nesse contexto, as típicas cristas de praias arenosas da costa oeste australiana (e.g. Thom et al., 1981) representam na verdade antigas dunas frontais.

Da análise desse processo, apreende-se também que as cristas sucessivas dos bermas nunca são colonizadas por espécies pioneiras – mesmo em condições de rápida progradação das praias, a área de colonização vegetal mostrou-se permanentemente limitada à faixa de pós-praia, acima da linha de maré de sizígia ou a ela nivelada. Tais considerações mostram-se fortemente apoiadas por evidências obtidas e relatadas em outras áreas mundiais (Hesp and Short, 1999), incluindo a África do Sul (Weisser e Backer, 1983), Irlanda (Carter e Wilson, 1990), Austrália (Hesp, 1982, 1983, 1984a, 1984b, 1984, 1989; Shepherd, 1990), Inglaterra (Salisbury, 1952; Ranwell, 1982), assim como na costa europeia (e.g. Carter et al., 1990; Arens, 1996), Rússia (e.g. Zenkovich, 1967), costa oeste e sul dos Estados Unidos (e.g. Nordstrom, 1992; Otvos, 1995), Suécia (Wallen, 1980), costa ártica e subártica (e.g. Martini, 1981; Hellemaa, 1998) e América do Sul (Suhayda et al., 1975).

Davies (1977) inicialmente considerou que as cristas de praia adquiriam seu alinhamento paralelo em função da disposição original do núcleo de berma, que seguiria a orientação geral da linha de praia. No entanto, não seria necessário invocar o processo de iniciação de núcleo de bermas para explicar a natureza regular, paralela, das cristas de praia e dunas frontais: nas áreas estudadas, onde o processo de formação das dunas foi iniciado pela deposição de sementes seguida de colonização vegetal, as sementes das espécies vegetais foram na maioria das vezes depositadas na altura do *swash* das marés de sizígia, estando assim alinhadas conforme a disposição da linha de praia e a direção das ondas.

Por outro lado, onde a formação inicial das dunas frontais foi controlada pelo crescimento dos rizomas e estolhos ou pelo crescimento das raízes da vegetação litorânea, ou onde as sementes foram dispersadas pelos ventos, o crescimento da vegetação em direção ao mar mostrou-se controlado pelo *swash* das marés de sizígia e por transgressões ou inundações provocadas por tempestades em contexto de elevada energia de ondas.

O segundo modelo evolutivo de dunas frontais do tipo “ataque-construção” (ou erosão-deposição) apresentado por Bird (1976) - no qual o escarpamento de dunas frontais pela ação das ondas seria o fator responsável pela “separação” das dunas em “cristas de praia” - não foi corroborado pelo monitoramento e pelas análises em tela: essas análises indicam que as depressões entre cristas são comumente “formadas” onde a vegetação próxima do mar aprisiona a maior parte das areais eólicas que ali aportam. Nesse contexto, as depressões representam zonas de baixa deposição ou de franca ausência de deposição, ficando indiretamente mais profundas à medida que os cordões paralelos se tornam mais elevados.

Como conclusão, salientamos que os dados relativos à gênese, ecologia, morfologia e estrutura sedimentar interna das “cristas praias” de Myall Lakes e Cervantes fornecem indícios suficientes para indicar uma origem eólica para as cristas de praia arenosas australianas, formadas em condições microtidais e ambientes de mar aberto. Essas cristas são geneticamente diferentes das “cristas construídas por ondas de tempestades” (*storm-wave built ridges*) de Psuty (1965) e das “cristas praias de cordões litorâneos emersos” (*emerge-bar beach ridge*) de Komar (1976).

As formas descritas por Davis, Bird e outros são, na verdade, dunas frontais, mostrando-se geneticamente distintas das cristas praias (*sensu strictu*). O termo “crista praias” deveria ser estritamente reservado para depósitos de construção marinha alinhados ao *swash* ou representando cristas construídas por ondas de tempestade, formadas primariamente por areia e/ou areia e cascalho (Hesp, 1999). Elas são, portanto, depósitos de origem puramente marinha, gerados pela ação das ondas.

Agradecimentos

As pesquisas na área de Myall Lakes foram apoiadas pelo Departamento de Geografia da Universidade de Sidney e pelo NSW Soil Conservation Service. As pesquisas na área de Cervantes foram apoiadas pelo Soil Conservation Branch, WA, Department of Agriculture. B. Ward forneceu importante assistência durante os trabalhos de campo e na análise dos dados. V. Claudino Sales traduziu o texto original para o Português.

Bibliografia

- ARENS, S.M. Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology* **17**:339-350, 1996.
- BIRD, E.C.F. *A geomorphological study of the Gippsland Lakes*. Australian National University Press, 1965.
- BIRD, E.C.F. *Coasts*. Australian National University Press, 2ª edição, 1976.
- CARTER, R.W.G.; WILSON, P. The geomorphological, ecological and pedological development of coastal foredunes at Magilligan Point, Northern Ireland, in: K.F. Nordstrom, N.P. Psuty and R.W.G. Carter, Editors, *Coastal Dunes: Form and Process*, Wiley, London, 1990, p. 129-157..
- DAVIES, J.L. The importance of cut and fill in the development of sand beach ridges. *Australian Journal of Science* **20**:105-111, 1957.
- DAVIES, J.L. Coasts. In JEANS, D.N. (Ed). *Australia. A geography*. Sidney University Press, 1977.
- DAVIES, J.L. *Geographical Variation in Coastal Development*. Longman, London, 1980, 212p.
- GOLDSMITH, V. (1989). Coastal sand dunes as geomorphological systems. In: C.H. Gimingham, W. Ritchie, B.B. Willetts and A.J. Willis, Editors, *Coastal Sand Dunes Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 96B, Roy. Soc. Edinb., Edinburgh, 1989, p. 3-15c.
- HELLEMAA, P. The development of coastal dunes and their vegetation in: Finland. *Fennia* **176**: 111-221, 1998.
- HESP, P. A. Morphology and Dynamics of Foredunes in: S.E. Australia. Unpubl. PhD Thesis, Dept. Geography, University of Sydney, 1982, 397 p.
- HESP, P.A. Morphodynamics of incipient foredunes in NSW, Australia. in: M.E. Brookfield and T.S. Ahlbrandt, Editors, *Eolian Sediments and Processes*, Elsevier, Amsterdam, 1983, p. 325-342.
- HESP, P. A. Fore dune formation in southeast Australia. in: B.G. Thom, Editor, *Coastal Geomorphology in Australia*, Academic Press, London, 1984a, p. 69-97.
- HESP, P.A. The formation of sand "beach ridges" and foredunes. *Search* **15**:289-291, 1984b.
- HESP, P.A. A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. In: C.H. Gimingham, W. Ritchie, B.B. Willetts and A.J. Willis, Editors, *Coastal Sand Dunes Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Edinburgh vol. 96B, Roy. Soc. Edinb., Edinburgh, 1989, p. 181-202.
- HESP, P.A. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments* **21**:165-191, 1991.
- HESP, P.A. The backshore and beyond, in: A.D. Short (ed). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. J. Wiley and Sons, 1999, p. 145-170.
- HESP, P.A. Fore dune and blow-outs: incitiation and dynamics. *Geomorphology* **48**:245-268, 2002.
- HESP, P.A.; SHORT, A.D. Barrier morphodynamics. In: A.D. Short, Editor, *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, Wiley, London, 1999, p. 307-333.
- JENNINGS, J.N The coastal morphology of King Island, Bass Strait, in relation to changes in the relative level of land and sea. *Rec. Queen Victory Museum Launceston* **11**:1-39, 1959.
- KOMAR, P.D. *Beach Processes and sedimentation*. Prentice-Hall, New Jersey, 1993, 417p.
- MARTINI, I.P. (1981). Coastal dunes of Ontario: distribution and geomorphology. *Geographie Physique et Quaternaire* **35**:219-229, 1981.
- MCKENZIE, P. The development of beach sand ridges. *Australian Journal of Science* **20**:213-214, 1958.
- NORSTROM, K.F. In: *Estuarine Beaches*, Elsevier, London, 1992, p. 225.

- OLSON, J.S. Lake Michigan dune development. I. Wind velocity profiles. *Journal of Geology* **66**:254-263, 1958a.
- OLSON, J.S. Lake Michigan dune development: 2. Plants as agents and tools in geomorphology. *Journal of Geology* **66**:345-351, 1958.
- OTVOS, E.G. Multiple Pliocene-Quaternary marine highstands, NE Gulf coastal plain—fallacies and facts. *Journal of Coastal Research* **11**: 984-1002, 1995.
- PSUTY, N.P. Beach-ridge development in Tabasco, New Mexico. *Annals of American Geological Society* **55**:112-121, 1965.
- RANWELL, D.S. In: *Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes*, Chapman & Hall, London, 1972, 258p.
- SALISBURY, E. *Downs and dunes. Their Plant Life and Environment*. G. Bell and Sons, London, 1952, 275 p.
- SANTOS, C.R.; CASTELLANI, T.T ; HORN FILHO, N.O. “Pioneer” vegetation dynamics at the beach and fore dunes in Joaquina beach, Santa Catarina Island, Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* **68**:495-508, 1996.
- SHEPHERD, M.J. Relict and contemporary foredunes as indicators of coastal processes. In: G. Brierley and J. Chappell, Editors, *Proc. Applied Quaternary Studies Symposium, A.N.U.*, Canberra, Australia, 1990, p. 17-24.
- SUHAYDA, J.N.; HSU, S.A.; ROBERTS, H.H.; SHORT, A.D.. Documentation and analysis of coastal processes, northeast coast of Brazil. CSI, LSU, Baton Rouge Tech. Rept. 238, 1975, 98 p.
- THOM, B.G. Late Quaternary coastal morphology of the Port Stephens-Myall Lakes area., N.S.W. Australia. *Journal and Proceedings Royal Society N.S.W* **23**:23-36, 1965.
- THOM, B.G., BOWMAN, G.M.; ROY, P.S. Late Quaternary evolution of coastal sand barriers, Port Stephens-Myall Lakes area, central N.S.W. Australia. *Quaternary Research* **15**:345-364, 1981.
- WALLEN, B. Changes in structure and function of *Ammophila* during primary succession. *Oikos* **34**: 227-238, 1980.
- WARD, B.H.R; *Conference Presentation*. Proceedings of the 53rd Australian and New Zealandian Association for the Advancement of Science-ANZAAS Congres, Perth, 1983.
- WEISSER, P.J.; BACKER, A.P. Monitoring beach and dune advancement and vegetation changes 1937-1977 at the Farm Twinstreams, Mtunzini, Natal, S.A. In: A. McLachlan and T. Erasmus, Editors, *Sandy Beaches as Ecosystems*, W. Junk, The Hague, 1983, p. 727-732.
- WONG, P.P. The herbaceous formation and its geomorphic role, East Coast, Peninsula Malaysia. *Malayan Nature Journal* **32**:129-141, 1978.
- ZENKOVICH, V.P. *Processes of Coastal Development*. Oliver and Boyd, London, 1967, 739p.

