

SINAL PALEOCLIMÁTICO DO PODER DO VENTO DURANTE O ÚLTIMO CICLO GLACIAL-INTERGLACIAL NA COSTA SUBTROPICAL BRASILEIRA A PARTIR DA ANÁLISE DO TAMANHO DE GRÃOS EÓLICOS DE RAMPA ARENOSA

PAISANI, J.C.¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Campus Francisco Beltrão R. Maringá, 1200, Francisco Beltrão (PR), CEP 85.605.010. (046xx) 3524-1661 e fax (046xx) 3523-0011 juliopaisani@hotmail.com

RESUMO

Em rampa arenosa costeira do Balneário Praia Mole (Ilha de Santa Catarina), costa subtropical brasileira, estabelecida durante o último ciclo glacial-interglacial, registram-se grãos de quartzo em frações granulométricas entre areia média e areia muito grossa que sofreram abrasão eólica. A presença dessas frações no depósito da rampa esta adequada às condições ambientais e climáticas da época de sua sedimentação. Neste contexto, este artigo mostra o sinal do poder do vento durante o último ciclo glacial-interglacial na costa subtropical brasileira a partir da análise do tamanho de grãos eólicos de rampa arenosa. Partindo do pressuposto de que a competência de transporte do vento fica registrada nas diferentes frações granulométricas de grãos de quartzo foscas definiu-se um *índice poder de transporte do vento* ao longo do tempo. A correlação desse índice com as variações da paleotemperatura do Atlântico Sul possibilitaram verificar o sinal paleoclimático dos grãos eólicos da rampa. Os resultados apontam para uma tendência de aumento nos valores do índice poder do vento em frações grossas, como areia muito grossa e grânulo, em direção ao máximo do último glacial. Essa tendência exhibe correlação estatística negativa com o declínio da paleotemperatura global. Pode-se pensar que durante os períodos interglaciais (quentes) o vento teve competência para transportar frações até areia grossa. No último glacial (período frio), a competência do vento aumentou e o transporte se deu para areia muito grossa e grânulos, com intensificação no máximo do último glacial. Conclui-se que os grãos eólicos da rampa arenosa documentam que durante o último período glacial o vento do quadrante sul foi responsável pelo transporte de areia para a rampa arenosa. Por outro lado, naquele período exibiu maior poder de transporte de grãos que no atual interglacial sugerindo maior fortalecimento das Frentes Polares, responsáveis pelo vento do quadrante sul, e um deslocado do Anticiclone Polar mais para o norte, assim como sugerido por outros autores.

Palavras-chave: paleoclimatologia, rampa arenosa, grãos eólicos, costa sul brasileira.

INTRODUÇÃO

O sistema deposicional eólico, com respectivas superfícies geomorfológicas, se caracteriza como demarcador tanto de fases transgressivas quanto regressivas do nível do mar, contribuindo para compreender a evolução paleogeográfica costeira (ex. MARTIN et al., 1979/80; PYE, 1993).

Apesar de importantes informações paleogeográficas trazidas por estudos a respeito da sedimentação eólica na região sul do Brasil (VILLWOCK et al., 1985; TOMAZZELI, 1990; GIANNINI, 1993), pouco se sabe sobre suas potencialidades quanto indicador de condições paleoclimáticas do Quaternário Superior. Em outras regiões do mundo, informações a respeito da direção de paleoventos têm sido obtidas analisando-se padrões de alinhamento de campo de dunas e tamanho de grãos de quartzo em depósitos de loess (LANCASTER, 1981; REA e LEINEN, 1988; XIAO et al., 1995).

Um dos tipos de depósito eólico com potencialidade para gerar informações paleoclimáticas e paleogeográfica é a rampa arenosa. O termo *rampa arenosa* tem sido utilizado para definir depósito estabelecido diante de obstáculo topográfico com fácies eólica interdigitada com fácies fluvial, de encosta e contendo níveis de paleossolos (ex. BIGARELLA, 1974; 1975;

LANCASTER e TCHAKERIAN, 1996; THOMAS et al., 1997). Esse tipo de depósito é encontrado tanto em desertos quanto em áreas costeiras de diferentes zonas climáticas, sendo, na maioria das vezes, entendido como duna de cavalgamento (ex. EVANS, 1962; PYE e TSOAR, 1990; PYE, 1993; ISLA e ESPINOSA, 1995).

No caso de rampas arenosas costeiras, estudos no litoral do Estado de Santa Catarina, zona subtropical costeira brasileira, têm revelado fácies eólica interdigitada com fácies de encosta e presença de níveis de paleossolos (BIGARELLA, 1974; GIANNINI, 1993; PAISANI, 2004). A fácies de encosta foi designada por Bigarella (1974) como fácies de dissipação, devido aos processos de retrabalhamento da rampa ao longo de sua evolução.

O tamanho de grão foi apontado como propriedade identificadora das fácies de dissipação em rampas arenosas (BIGARELLA, 1974; 1975), pois frações maiores que areia fina, a exemplo areia muito grossa, não são frações comumente encontradas em depósitos eólicos (AHLBRANDT, 1979). Essa propriedade dos grãos varia conforme a composição mineralógica, a fonte de sedimentos e a competência do vento (PYE e TSOAR, 1990). Por outro lado, Goudi (1995) menciona que durante períodos glaciais, quando a dinâmica atmosférica global era diferente da atual, o vento poderia ter maior competência que nos períodos interglaciais, podendo transportar frações mais grossas.

Em rampa arenosa costeira do Balneário Praia Mole (Ilha de Santa Catarina), estabelecida durante o último ciclo glacial-interglacial (PAISANI, 2004), registram-se grãos de quartzo em frações granulométricas entre areia média e areia muito grossa que sofreram abrasão eólica (PAISANI, 2005). A presença dessas frações no depósito da rampa esta adequada às condições ambientais e climáticas da época de sua sedimentação. Nesse contexto, este artigo mostrar o sinal do poder do vento durante o último ciclo glacial-interglacial na costa subtropical brasileira a partir da análise do tamanho de grãos eólicos de rampa arenosa localizada no Balneário Praia Mole.

ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Santa Catarina se encontra no litoral da região sul do Brasil em zona subtropical na porção leste do Estado de Santa Catarina (Figura 1). O clima é mesotérmico úmido sem estação seca definida e verão quente (Cfa – classificação de Köppen), com pluviosidade média anual de 1.467,6 mm e temperatura média anual de 20,39° C (HERRMANN, 1989). O Balneário Praia Mole se localiza na porção leste da ilha e se caracteriza por praia arenosa (Figura 1).

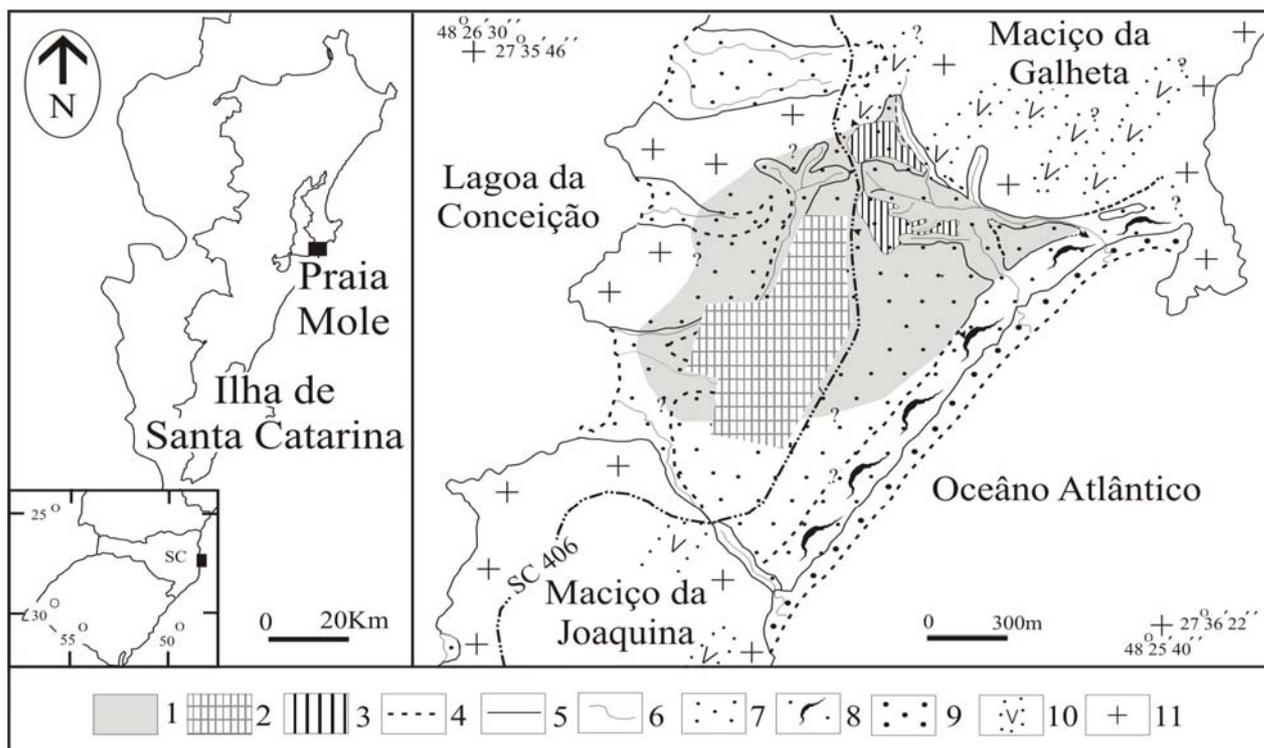


Figura 1 - Localização e Geologia do Balneário Praia Mole. (1) Rampa arenosa. (2) Área urbanizada. (3) Terraplanagem. (4) Contato suave. (5) Contato abrupto. (6) Drenagem. (7) Praia atual. (8) Anteduna atual. (9) Areia indiferenciada - Quaternário Superior. (10) Dique de diabásio - Mesozóico. (11) Granito - Proterozóico/Eopaleozóico (adaptado de PAISANI, 2004).

A rampa arenosa compreende unidade geomorfológica derivada da acumulação de sedimentos arenosos diante do Maciço da Galheta (Figura 1). O depósito da rampa arenosa (camadas V a XVI) se estabeleceu a partir da fase regressiva do penúltimo máximo transgressivo - estágio isotópico 5e (PAISANI, 2004). Caracteriza-se como seqüência de camadas eólicas (V, VI, VII, X, XIII, XV e XVI) e de dissipação (VIII, IX, XI, XII e XIV), com três níveis de paleossolos (Quadro 1). A seqüência de dissipação indica retrabalhamento dos sedimentos eólicos e sua mistura com sedimentos imaturos de encosta (PAISANI, 2005).

ESTÁGIOS ISOTÓPICOS MARINHOS	GEOCRONOLOGIA (DATAÇÕES POR LUMINESCÊNCIA)	LITOESTRATIGRAFIA		PEDOESTRATIGRAFIA
		UNIDADE	LITOFÁCIES	
1	Atual	XIX	areia fina Tecnogênica	
		EROSÃO	-	
	<6,6K0a	XVII e XVIII	areia média Praial a areia média fina/fina Praial-Eólica	
		EROSÃO	-	
		-	-	
		XVI	areia fina Eólico	
		EROSÃO	-	
-	-			
			3 - Paleoargissolo	
2	13,1 – 14,7Ka	XV	areia fina/ fina média Eólica	
		XIV	areia fina/ fina média de Dissipação com linha de grânulos/pedras	
	22Ka ± 1,4	XIII	areia fina/ fina média Eólica	
3	33,6Ka ± 2,2	XI e XII	areia fina/ fina média de Dissipação	
?		EROSÃO	-	
5c		-	-	1- Paleolatosolo
5d	109Ka ± 9	X	areia fina Eólica	
5e/5d		VIII e IX	areia fina/ fina média de Dissipação a de Dissipação com linha de grânulos/pedras	
5e		V, VI, VII	areia fina média Residual de deflação Eólica	
	124Ka ± 9	II, III e IV	areia média a fina média Praial	
		EROSÃO	-	
?		I	areia fina Eólica	

Quadro 1 - Coluna estratigráfica da Rampa Arenosa do Balneário Praia Mole (PAISANI, 2004).

METODOLOGIA

A idéia de que o tamanho de grãos eólicos da rampa arenosa poderiam indicar o poder do vento durante o último máximo glacial surgiu com a análise morfooscópica e de textura superficial dos grãos de quartzo de suas camadas (PAISANI, 2004). Grãos foscos ocorrem em maior número entre as frações granulométricas areia média e grânulo, chegando a 100%. Nas frações areia muito fina a areia fina são no máximo de 64%. Sabendo-se que o tamanho dos grãos de quartzo eólicos são indicativo da competência de transporte do vento que antecedeu a sedimentação de determinada fração, grãos eólicos na fração areia muito grossa, indicam que antes da deposição o vento exibia velocidade suficiente para transportá-los, seja na forma de arraste ou saltação. Diante disso, a competência de transporte do vento fica registrada nas

diferentes frações granulométricas de grãos de quartzo foscas, possibilitando definir um *índice poder de transporte do vento* ao longo do tempo.

Definiu-se um *índice poder de transporte do vento* (IPV) a partir da multiplicação do percentual total de grãos foscas (GrF %) pelo número de grãos da população descrita (Ngr). O valor resultante foi dividido por 100 para manter-se sem unidade de medida, conforme a equação 1. A variação do índice é de 0 a 10, onde próximo de 10 indica a ação máxima do vento.

$$\text{Equação 1: } \text{IPV} = (\text{GrF \%} \times \text{Ngr}) / 100$$

Cabe esclarecer que as populações de grãos descritas nas frações grânulo, areia muito grossa e areia grossa variaram de 01 a 41 grãos (PAISANI, 2004). Se utilizados diretamente os percentuais totais de grãos foscas individualizados nessas populações, não se chegaria a resultado satisfatório para se inferir a competência do vento. Frações com apenas um grão totalizariam 100% de grãos foscas, conduzindo a falsa idéia de máxima competência do vento.

A verificação se os grãos eólicos da rampa arenosa traziam correlação com as variações na competência do vento durante o último ciclo glacial-interglacial, contou com a correlação dos valores do índice poder do vento do registro estratigráfico com as variações da paleotemperatura desse período para o Atlântico Sul, levantadas por Cortese e Abelman (2002).

RESULTADOS

Poder de Transporte do Vento

A figura 2a apresenta os resultados do índice poder do vento, normalizada para 100%, por fração granulométrica para camadas eólicas e de dissipação da rampa arenosa. Analisando os valores para as frações maiores que areia média, aquelas que apresentam os maiores percentuais de grãos foscas, percebe-se quatro tendências nos índices: 1) redução das frações maiores que areia média da camada V para a camada VII; 2) aumento progressivo de grãos foscas nas frações areia muito grossa a grânulo entre as camadas VIII e XIII; 3) decréscimo dessas frações em direção à camada XV; 4) ausência de grânulos foscas e areia muito grossa fosca na camada XVI. Essa última característica se estende para a camada XVIII, fácies de transição entre praias e eólica da última fase transgressiva-regressiva (PAISANI, 2004).

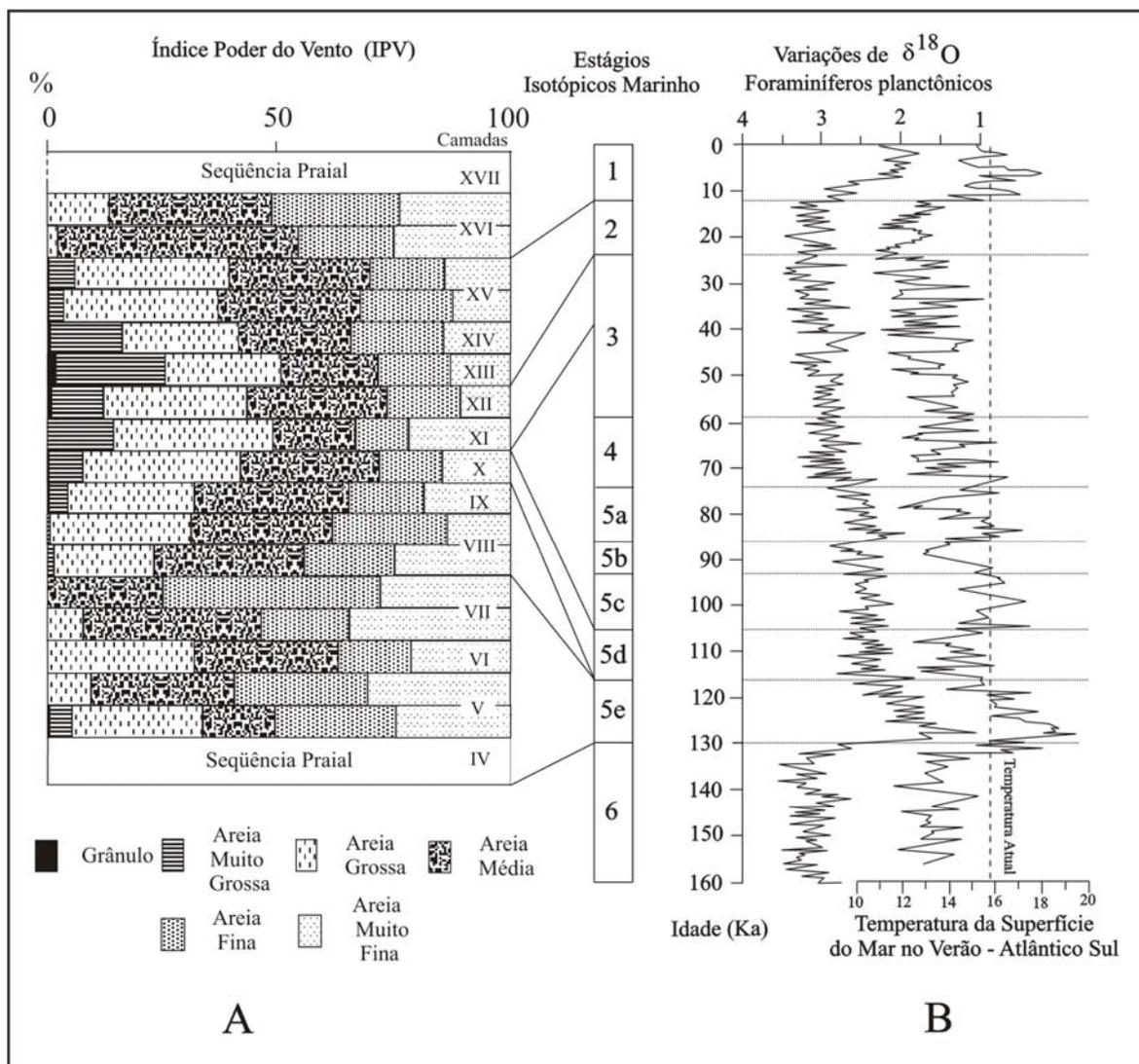


Figura 2 – (a) Índice poder de transporte do vento (IPV) aplicado aos grãos das camadas da área de estudo. (b) Paleotemperatura do Atlântico Sul no último ciclo glacial-interglacial (adaptado de CORTESE e ABELMANN, 2002).

Declínio da Paleotemperatura no Atlântico Sul Vs Índice Poder de Transporte do Vento

O sinal paleoclimático do *índice poder do vento* seria mais eficiente se estabelecido a partir de grãos de quartzo eólicos de uma seqüência deposicional contínua, como depósito de loess. Não é caso do registro estratigráfico da rampa arenosa do Balneário Praia Mole, que exhibe recorrentes discontinuidades erosivas e formação de paleossolos (Quadro 1). Deste modo, a correlação do índice com outras informações paleoambientais mais precisas, a exemplo paleotemperatura global do hemisfério sul, a partir de cores marinhos, é feita tendo-se ciência da baixa qualidade do registro estratigráfico da rampa arenosa enquanto indicador paleoambiental (*proxy data*).

A figura 2b exibe a paleotemperatura durante o último ciclo glacial-interglacial. Comparando-a com as tendências da competência do vento (Figura 2a), expressas no índice poder de transporte de paleovento, constata-se redução do poder do vento durante os dois últimos interglaciais referidos como estágios isotópicos 5e e 1, sobretudo pela ausência de grãos foscos de areia muito grossa e grânulos entre as camadas V-VII e XVI-XVII. Igualmente observa-se aumento progressivo de grãos foscos nas frações areia muito grossa e grânulo do início para o máximo do último glacial, estágios isotópicos 5d a 2, como mostra a tendência entre as camadas IX a XIII.

A tendência de aumento nos valores do índice poder do vento em frações grossas, como areia muito grossa e grânulo, exibe correlação estatística com o declínio da paleotemperatura global em direção ao máximo do último glacial (Figura 3). Pode-se pensar que durante os períodos interglaciais (quentes) o vento teve competência para transportar frações até areia grossa. No último glacial (período frio), a competência do vento aumentou e o transporte se deu para areia muito grossa e grânulos, com intensificação no máximo do último glacial.

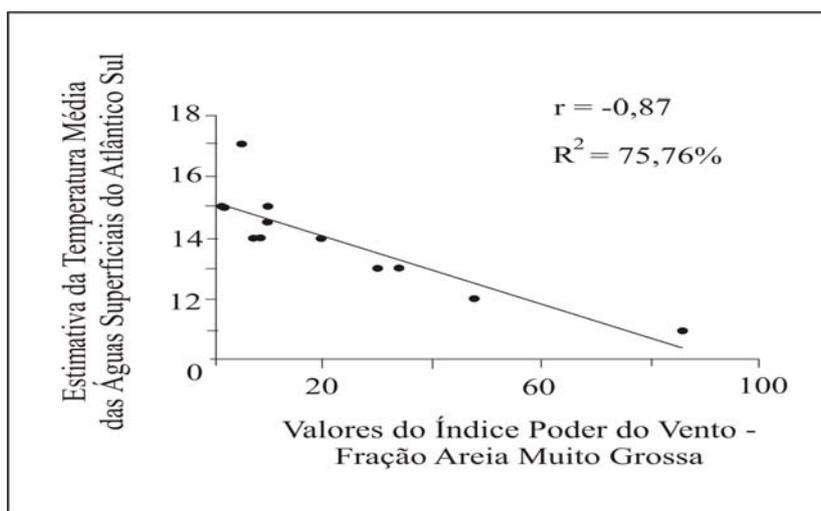


Figura 3 - Diagrama de correlação entre o índice poder do vento para fração areia muito grossa e a paleotemperatura do Atlântico Sul.

DISCUSSÃO

A rampa arenosa da área de estudo tem face de barlavento voltada para a direção sul, mostrando que o vento desse quadrante foi responsável pela sua sedimentação eólica. O vento do quadrante sul também é responsável pela maioria das acumulações eólicas da faixa leste da Ilha de Santa Catarina (BIGARELLA, 1970-71). Poder-se-ia pensar que esse é o quadrante de vento

predominante, no entanto o vento do quadrante norte prevalece para toda a Ilha de Santa Catarina (HERRMANN, 1989).

O fato de o vento predominante não ser responsável pela maioria das acumulações eólicas se deve à diferença de velocidade desses ventos. Enquanto o vento do quadrante norte sopra com velocidade média de $\sim 3,65\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, o vento do quadrante sul exibe velocidade média de 9 a $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (FREYESLEBEN, 1979). A maior velocidade do vento do quadrante sul tem relação direta com a brusca entrada de Frentes Frias na costa sul brasileira. Elas são impulsionadas pelo avanço da Massa Polar do Anticiclone Polar, sobretudo no inverno quando há deslocamento para norte do Anticiclone do Atlântico Sul, responsável pelo vento do quadrante de nordeste (FREYESLEBEN, 1979).

Iriondo (1999) sugere que durante o máximo do último glacial houve deslocamento do Anticiclone do Atlântico Sul em direção norte, deixando maior área para atuação do Anticiclone Polar. Situação similar tem sido apontada em relação ao Anticiclone Africano, situado no Oceano Índico (LANCASTER, 1981). A maior área de atuação do Anticiclone Polar pode ter favorecido a entrada de Massas Polares de modo mais constante. Durante o máximo do último glacial, talvez o vento do quadrante sul tenha predominado e possivelmente se fortalecido, diante do deslocamento para norte do Anticiclone do Atlântico Sul, como sugere Behling e Negrelle (2001). Isso explicaria a ocorrência de grãos eólicos de areia grossa nas camadas depositadas durante o último glacial, sobretudo aquelas com grãos eólicos depositados no máximo do glacial.

CONCLUSÕES

Os grãos eólicos da rampa arenosa documentam que durante o último período glacial o vento do quadrante sul foi responsável pelo transporte de areia para a rampa arenosa. Por outro lado, naquele período exibiu maior poder de transporte de grãos que no atual interglacial, sugerindo maior fortalecimento das Frentes Polares, responsáveis pelo vento do quadrante sul, e um deslocado do Anticiclone Polar mais para o norte, assim como sugerido por outros autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLBRANDT, T.S. Textural parameters of eolian deposits. In: McKee, E.D. (Ed.) *A study of global sand seas*. Geological Survey Professional Paper, 1052, 1979, pp.21-51.
- BEHLING H.; NEGRELLE R.R.B. Tropical Rain Forest and Climate Dynamics of the Atlantic Lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. *Quat.Research*, **56**:383-389, 2001.
- BIGARELLA, J.J. Wind pattern deduced from dune morphology and internal structures. *Boletim Paranaense de Geociências*, **28/29**:73-114, 1970-1971.

- BIGARELLA J.J. Structures developed by dissipation of dune and beach ridge deposits. *Catena*, **1**:107-152, 1974.
- CORTESE G.; ABELMANN A. Radiolarian-based paleotemperatures during the last 160 kyr at ODP Site 1089 (Southren Ocean, Atlantic Sector). *Palaeog.Palaeoc.Palaeoecology*, **182**:259-286, 2002.
- EVANS J.R. Falling and climbing sand dunes in the Cronese (“Cat”) Mountain area, San Bernardino County, California. *J. Geology*, **70**:107-113, 1962.
- FREYESLEBEN, L.M.C. *Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis. Florianópolis*. 49p., 1979. Tese (Professor Adjunto), Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Giannini, P.C. *Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguarina e Imbituba, SC*. São Paulo. 278p., v.1, 1993, Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Goudie A.S. *The Changing Earth: rates of geomorphological processes*. Blackwell. 1995, 302pp.
- Iriondo, M.H. Last glacial maximum and hypsithermal in the southern hemisphere. *Quaternary International*, **62**:11-19, 1999.
- Lancaster N.; Tchakerian V.P. Geomorphology and sediments of sand ramps in the Mojave Desert. *Geomorphology*, **17**:151-165, 1996.
- Lancaster, N. Paleoenvironmental implications of fixed dune systemns in Southern Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **33**:327-346, 1981.
- Paisani, J.C. *Estratigrafia, significado paleoambiental e evolução de rampa arenosa/dissipação no Balneário Praia Mole – Ilha de Santa Catarina*. 255p., 2004. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Paisani, J.C. Análise morfométrica e de textura superficial de grãos utilizadas na identificação de litofácies eólica e de dissipação em rampa arenosa/dissipação: o caso da Praia Mole (Ilha de Santa Catarina). *Rev.Geosul*, **20**(39):105-118, 2005.
- Pye, K.; Tsoar H. *Aeolian sand and sand dunes*. London, Unwin Hyman, 1990, 369pp.
- Rea, D.K.; Leinen, M. Asian aridity and the zonal westerlies: Late Pleistocene and Holocene Record of eolian deposition the Northwest Pacific Ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **66**:01-08, 1988.
- Thomas, D.S.G. et al. Development and environmental significance of an eolian sand ramp of last-glacial age, Central Iran. *Quat.Research*, **48**:155-161, 1997.

Tomazelli, L.J. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico*. 270p., 1990. Tese (Doutorado em Geociências), UFRGS.

Villwock L.J. et al. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. *In: Rabassa J. (ed.) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, Balkema-Rotterdam, 1986, pp.79-97.

Xiao, J. et al. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Loess Plateau of Central China during the Last 130,000 Yr. *Quaternary Research*, 43:22-29, 1995.