



IDADE DAS DUNAS MÓVEIS TRANSVERSAIS NO SEGMENTO ENTRE MACAU E JERICOACOARA - LITORAL SETENTRIONAL DO NORDESTE BRASILEIRO ¹

(Com 3 figuras)

JOÃO WAGNER ALENCAR CASTRO ^{2,3}
RENATO RODRIGUEZ CABRAL RAMOS ²

RESUMO: Objetiva-se determinar a idade das dunas móveis transversais do litoral setentrional do nordeste brasileiro usando como parâmetros datações em eolianitos, dados sobre regime de ventos (pretérito e atual) e monitoramento de campo. Através do método de datação cronológica ¹⁴C em eolianitos e acompanhamento do processo de movimentação de dunas móveis foi possível estabelecer a idade dos campos de dunas atuais. Os resultados indicaram através do método ¹⁴C que os eolianitos correspondentes à terceira geração de dunas apresentam idade entre 1780 ± 80 a 1320 ± 50 anos AP. Considerando a extensão do campo de dunas da área de estudo e o grande volume de areias eólicas, admite-se que a paisagem atual correspondente ao sistema de dunas transversais móveis tenha menos de 1320 ± 50 AP. Neste contexto, os resultados alcançados mostraram-se satisfatórios para a compreensão da evolução recente das dunas costeiras transversais do litoral setentrional do nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Idade das dunas transversais móveis. Datação em eolianitos. Litoral setentrional do nordeste brasileiro.

ABSTRACT: Age of mobile transversal dunes between Macau and Jericoacoara - northern coast of northeastern Brazil.

We aimed to determine the age of the Brazilian northeast coast transversal mobile dunes using as parameter dating in eolianites, winds climate, data interpretation (past and current) and monitoring the aeolian mobile transversal forms movement process. Through dating by method ¹⁴C in eolianites and accompanying of dunes movement processes it was possible to establish the mobile transversal dunes age. The results indicated through of the method ¹⁴C that the third generation of the dunes corresponding to the eolianites has 1780 ± 80 to 1320 ± 50 years. Considering the material transportation by east wind towards the transversal dunes estimated in 11m/year, the aeolian system has less than 1320 +/- 50 AP. Within this context, the geological evolution model applied proved to be satisfactory to the comprehension of age mobile transversal coastal dunes of the Brazilian northeast.

Key words: Mobile transversal dunes age. Dating in eolianites. Coastal dunes of the Brazilian northeast.

INTRODUÇÃO

No litoral setentrional do nordeste brasileiro registra-se a ocorrência dos maiores campos de dunas do Brasil. Praticamente toda linha de costa do segmento estudado entre os municípios de Macau, no Estado do Rio Grande do Norte, e Jericoacoara, no Estado do Ceará, é constituída por dunas móveis, dunas fixadas por vegetação ou cimentadas por carbonato de cálcio (Fig. 1). Na maior parte desse segmento de litoral ocorrem pelo menos quatro gerações de dunas de diferentes idades. A primeira geração identificada

como a mais antiga é conhecida pela denominação de paleodunas, assentada sobre a Formação Barreiras (BRAGA *et al.*, 1981; PERRIN & COSTA, 1982; CARVALHO, 2003). A segunda geração é constituída por um conjunto de feições longitudinais paralelas entre si, indicando variações do nível do mar mais elevado ao longo do Holoceno (CASTRO, 2001). A terceira é representada por eolianitos (dunas piramidais) com orientação nordeste-sudoeste em posição oblíqua a linha de costa (CASTRO, 2001, 2004), e a última geração corresponde ao sistema de dunas móveis transversais atuais (CASTRO, 2001, 2005; CLAUDINO-SALES, 2002).

¹ Submetido em 31 de março de 2006. Aceito em 06 de novembro de 2006.

² Museu Nacional/UFRJ, Departamento de Geologia e Paleontologia. Quinta da Boa Vista, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ E-mail: jwalencastro@mn.ufrj.br.

A presença de dunas costeiras é determinada pela relação de três variáveis: a disponibilidade de sedimento solto; a atuação do vento de suficiente intensidade e direção para remobilizar o sedimento e transportá-lo; e a existência de uma superfície de dimensões adequadas para que o ambiente eólico se desenvolva (GOLDSMITH, 1978). O litoral setentrional do nordeste brasileiro constitui o único local no Brasil onde se registra a ocorrência de eolianitos, areias de dunas cimentadas por carbonato de cálcio. SAYLE (1931) usou o termo eolianito pela primeira vez para descrever todas as rochas sedimentares consolidadas, depositadas pelo vento. XITAO (1988) estudando os eolianitos de Fujian na China admitiu que a distribuição desses depósitos eólicos ocorre nos mais diversos tipos de clima, similar às dunas costeiras. No litoral setentrional do nordeste brasileiro a origem dos eolianitos deve-se a acumulações de bioclastos marinhos na faixa de praia, entre estes, foraminíferos das classes miliolídio e rotaleídio, que ao serem carregados pelo vento, depositaram-se sobre dunas obliquas pré-existentes (CASTRO *et al.*, 1998). Neste sentido, os eolianitos correspondentes à terceira geração por apresentarem uma orientação totalmente distinta em relação às outras formas eólicas,

representam um importante indicador de mudanças de regime de vento na região de estudo, principalmente pela grande extensão que ocupam, pois ocorrem como afloramentos bem distribuídos obliquamente à linha de costa em diversos pontos do litoral dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Estudos abordando reconstrução paleoambiental em eolianitos utilizando a cronologia pelo método ^{14}C são praticamente inexistentes no Brasil, podendo ser citado o trabalho de CASTRO & RAMOS (2005). No entanto os recentes avanços obtidos no emprego do método de termoluminescência em dunas, vem sendo desenvolvido desde da metade da década de 90 através dos trabalhos de POUPEAU, *et al.* (1994), BARRETO (1996), BARRETO *et al.* (2001) e SUGUIO, *et al.* (2003). Considerando a orientação dos depósitos eólicos de nordeste - sudoeste e a natureza deposicional das formas transversais de leste - oeste no segmento estudado, o presente trabalho tem como objetivo determinar a idade das dunas transversais móveis (4ª geração de dunas) usando como parâmetro, datações em eolianitos (3ª geração de dunas), interpretação de dados sobre regime de ventos (pretérito e atual) e cálculo da taxa de movimentação de dunas barcanas atuais.

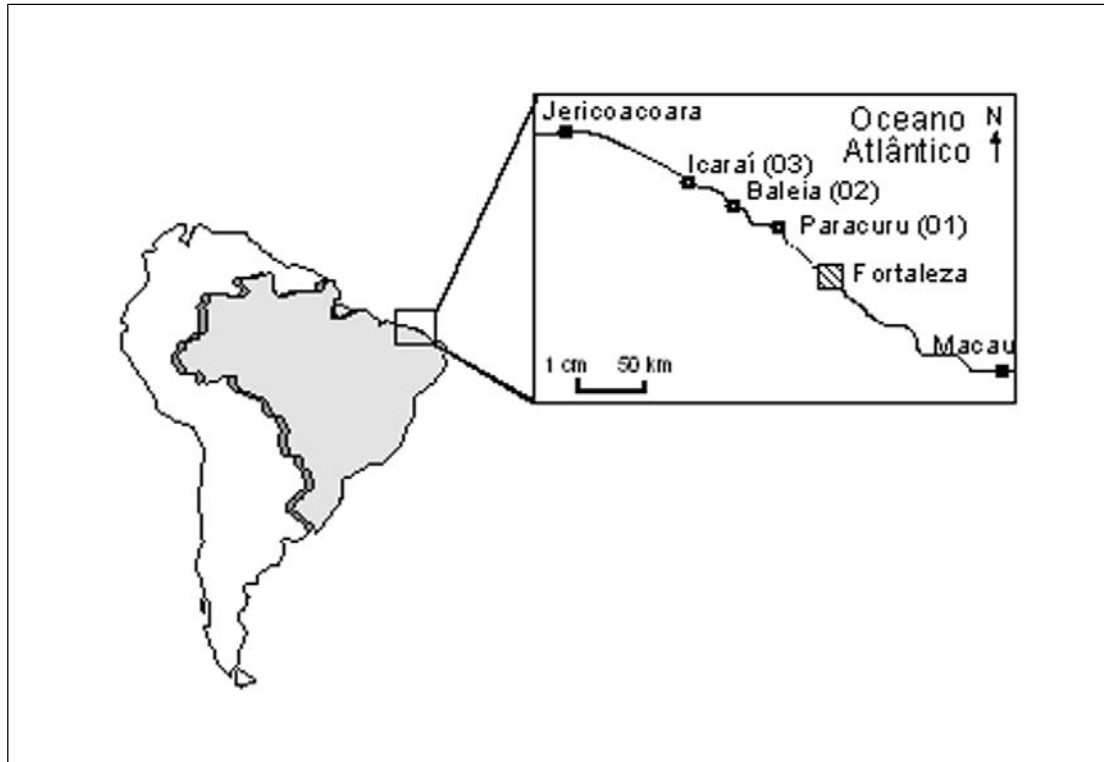


Fig.1- Localização da área de estudo indicando os locais de coleta de material para datações.

MATERIAL E MÉTODO

Foram coletadas três amostras em pontos distintos dos campos de eolianitos para datação pelo método ¹⁴C (Tab.1) com o objetivo de determinar a idade dessas feições morfológicas e estimar através de uma avaliação espaço-temporal a deposição do sistema eólico atual (dunas móveis transversais). Duas amostras de material foram analisadas e datadas no Radiocarbon Dating Laboratory - University of Waikato, Hamilton, Nova Zelândia. O terceiro resultado foi obtido através de idade normalizada com correção de fracionamento isotópico e correção de efeito reservatório pelo Professor Louis Martin. As datações das amostras, Brasil 01P WK 8228, Brasil 02B WK 8229 e Brasil 03 OBDY, revelaram idades distintas. Devido à ausência de orientação nos afloramentos Brasil 02B WK 8229 e Brasil 03 OBDY, considerou-se apenas o último segmento de duna correspondente à amostra 01P WK 8229 (NE-SW), para efeito de interpretação. O procedimento adotado pelo laboratório citado envolveu alguns pré-tratamentos como *acid/álcali/acid* e *acid washes* nas três amostras. Os resultados foram baseados em uma vida média de 5560 anos com correções por fracionamento isotópico aplicado, ¹³C. Através de mensurações com bússola, foi possível obter direções de paleoventos, durante o processo deposicional do material biogênico. As informações obtidas em campo indicaram que as direções dos ventos eram provenientes do quadrante nordeste. O estudo do regime de vento atual foi executado com base em registros cedidos pelo Departamento de Fontes Alternativas e Conservação de Energia - COELCE, efetuados em uma estação, instalada a leste da área, situada no topo de uma duna móvel, no distrito de Taíba, Ceará. A partir dos registros disponíveis, optou-se por trabalhar com uma série de dados diários com medições de hora em hora, série 1997. A determinação direta no terreno foi obtida através de monitoramento de uma duna barcana isolada com altura média de 2,5 x 35m

de largura na região costeira de Paracuru, Ceará (UTM 9324337 e 0499975), durante um período de tempo de mais de dois anos, entre abril de 1998 e junho de 2000. Para realização do monitoramento, tomou-se como referência uma cerca de arame farpado, orientada paralelamente a crista da duna. Foram utilizadas também estacas de madeira segundo uma linha orientada perpendicularmente à crista, ou seja, disposta segundo a direção dominante de migração. A medida em que a duna avançava, a cerca de arame era marcada com tinta acrílica e realizada, conseqüentemente a medição. As medidas foram tomadas em intervalos de três meses para que se pudesse detectar a trajetória e direção do processo de movimentação impulsionado pelo regime de ventos. Para avaliação da progressão horizontal da movimentação do transporte eólico utilizou-se um anemômetro portátil modelo Kestrel - Pocket Wind Meter com o intuito de verificar o comportamento da duna monitorada nas estações seca e chuvosa.

RESULTADOS

A distinção cronológica dos diferentes afloramentos de eolianitos na área de estudo, foi realizada utilizando-se critérios topográficos, morfológicos e de datação pelo método ¹⁴C, conforme tabela 1. As datações das amostras Brasil 01P WK 8228, Brasil 02B WK 8229 e Brasil 03 OBDY revelaram idades de 1320 ± 50 AP, 1780 ± 60 AP e 1640 ± 50 AP, respectivamente. Estas idades são semelhantes às obtidas por MULLER (1970) na costa das Bahamas e por WARD (1973) em eolianitos da região de Cancun, no México. A tabela 2 resume os dados da frequência percentual (direção e velocidade) dos ventos superficiais registrados na estação da praia de Taíba próximo a Paracuru, Ceará, durante o período de um ano de observação. Os valores foram agrupados em classes distintas Os dados obtidos mostram claramente que os ventos mais freqüentes (76,76%) na região do sistema eólico de Paracuru provêm do quadrante leste (E).

TABELA 1. Datações ¹⁴C em eolianitos (dunas cimentadas por carbonato de cálcio). Zona Costeira do Estado do Ceará.

LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	IDADE ANOS BP	REFERÊNCIA (LABORATÓRIO)
Paracuru 01	3° 24' 91" S	38°59' 92" W	1320 +/- 50	WK 8228. Brasil 01P
Baleia 02	3° 24' 94" S	38°59' 94" W	1780 +/- 60	WK 8229. Brasil 02B
Icarai 03	3° 24' 99" S	38°55'97" W	1640 +/- 50	Brasil 03 OBDY

TABELA 2. Frequência percentual dos ventos (direção e velocidade) registrada na estação meteorológica Praia da Taíba, Ceará, entre 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1997.

ESTAÇÃO	DIREÇÃO	INTERVALO DE VELOCIDADE (m/s)				%	VEL. MÉDIA (m/s)	TOTAL DE OBS.
		1 a 5	>5 a 7	>7 a 9	> 9			
Praia da Taíba	N	-	1,30	-	-	1,30	7,0	8760
	NE	6,65	2,19	-	-	8,84	4,2	
	E	12,05	46,00	17,26	2,46	76,76	6,8	
	SE	3,36	4,09	4,36	1,36	13,10	6,7	

Fonte: CASTRO (2001).

Os ventos de sudeste (SE) ocupam a segunda posição com 13,10%; em seguida os ventos de nordeste (NE), atingem percentuais de 8,84%, e praticamente desprezíveis em termos de frequência, os ventos de norte (N) apresentam percentuais de apenas 1,3%. Ao longo do período de monitoramento do processo de movimentação de dunas, verificou-se que as precipitações pluviométricas regionais exercem uma forte influência no transporte de sedimento eólico. Durante o período chuvoso (fevereiro a maio) o processo de movimentação de dunas é mínimo, no entanto nunca chega a ser interrompido devido a intervalos de dias sem chuva e a potência do vento sobre a região. Na estação seca (junho a janeiro), o processo de migração é retomado, atingindo valores significativos (Tab.3).

DISCUSSÃO

A diferença de orientação morfológica entre a terceira e a quarta geração de dunas, deve-se a uma mudança de direção dos ventos após o último processo deposicional dos eolianitos ocorrida por volta de 1320 ± 50 anos AP. Entre 1780 ± 80 a 1320 ± 50 anos AP,

o regime de ventos na região da área de estudo era predominantemente do quadrante nordeste, unidirecionais, provavelmente menos intensos em relação ao regime atual. Tal fato pode ser constatado pelo pequeno a médio volume dos depósitos de eolianitos, se comparados aos imensos campos de dunas móveis atuais de orientação transversal (leste). Apesar das frequências percentuais (velocidade e direção) contidas na tabela 2 representarem apenas um ano de medição, pode-se observar que na maior parte do litoral entre Macau no Estado do Rio Grande do Norte e Jericoacoara no Estado do Ceará, os ventos efetivos no transporte eólico atual são provenientes predominantemente do quadrante leste e, secundariamente, do quadrante sudeste. A constatação em relação ao regime de ventos pode ser observada em campo através da orientação das dunas móveis transversais perpendiculares à linha de costa. Segundo FRYBERGUER (1979) esse tipo de regime pode ser enquadrado como unimodal estreito (mais de 90% do transporte cai em duas direções adjacentes ou dentro de uma faixa de 45°). As figuras 2 e 3 mostram as características geológicas diferenciadas dos depósitos eólicos estudados.

TABELA 3: Movimentação trimestral de avanço de dunas e pluviometria no litoral de Paracuru, Ceará, entre abril de 1998 e junho de 2000. Fonte: CASTRO (2001).

Trimestre	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º
	Abr.-Jun. 1998	Jul.-Set. 1998	Out.-Dez. 1998	Jan.-Mar. 1999	Abr.-Jun. 1999	Jul.-Set. 1999	Out.-Dez. 1999	Jan.-Mar. 2000	Abr.-Jun. 2000
Precipitação (mm)	656	13	12	681	665	31	28	552	239
Movimentação de dunas (m)	2,7	6,8	6,9	1,9	2,1	8,3	7,0	2,0	2,8



Fig.2- Afloramento de eolianito posicionado obliquamente à linha de costa na região da planície costeira de Paracuru, Ceará.



Fig.3- Dunas móveis transversais atuais impulsionadas pelo regime de ventos do quadrante Leste na região estudada.

A figura 2 caracteriza-se como eolianito posicionado obliquamente à linha de costa. As estratificações identificadas durante os trabalhos de campo apontam um transporte eólico de nordeste para sudoeste. Os grãos que compõem a matriz apresentam baixo grau de arredondamento. Conforme classificação de PETIJOHN (1957), as amostras identificadas apresentam-se pouco arredondadas, caracterizando uma curta distância da área fonte (praia). A figura 3 corresponde às dunas móveis transversais atuais impulsionadas pelos ventos de leste. Na medida em que as dunas migram em direção a oeste, vão se tornando mais retilíneas até se orientarem como uma cadeia transversal. Apesar do imenso volume de material remobilizado, essas formas eólicas são muito recentes. Conforme experimentos de campo realizados através de anemômetro (CASTRO, 2001), observou-se que só é possível o desenvolvimento morfológico de uma duna durante a estação seca com ventos superiores a 5,0m/s. Neste caso, apesar dos ventos de nordeste atingirem velocidades médias de 6,65m/s durante o mês de janeiro, os mesmos não têm competência para desenvolver uma duna, devido sua ocorrência se concentrar na pré-estação chuvosa (novembro, dezembro e janeiro). Os dados obtidos em campo e laboratório, tais como, movimentação de dunas, regime de vento e datações, justificam a ausência de dunas móveis atuais na direção nordeste. Essa constatação é o oposto do que ocorreu entre 1780 +/- 80 a 1320 +/- 50 anos AP quando os ventos de nordeste nessa região eram reinantes e dominantes. Através de mensurações com bússola, foi possível obter prováveis direções de paleoventos, durante o processo deposicional das dunas piramidais (eolianitos). Os resultados obtidos indicaram que as direções dos ventos que originaram os eolianitos eram provenientes do quadrante nordeste. Como as dunas, para se desenvolverem morfológicamente, necessitam de ventos com velocidades superiores a 6,0m/s, (MCKEE, 1979) e/ou 5,0m/s (CASTRO, 2001) é provável que as velocidades dos ventos naquela época fossem superiores às velocidades encontradas atualmente. Os resultados apresentados na tabela 3 mostram que o deslocamento anual das dunas é proporcional aos índices pluviométricos registrados na região, ou seja, quanto maior for este índice menor será a migração das dunas. O método de determinação direta no terreno permitiu avaliar as variações plurianuais do transporte eólico e a migração de

dunas. Os resultados confirmam que estas variações dependem das precipitações pluviométricas e do regime de ventos (leste e sudeste). Por ocasião da estação chuvosa (fevereiro a maio), o transporte de sedimento em direção aos campos de dunas é parcialmente interrompido, atingindo velocidades de migração em torno de 2,1m/trimestre. Durante a estação seca aproximadamente 8,0 (oito) meses/ano, o transporte de sedimento é retomado atingindo velocidades de movimentação de 8,3m/trimestre.

CONCLUSÕES

A interpretação e análise da geometria e distribuição espacial das dunas permitiram tirar conclusões quanto ao regime de vento, num intervalo de tempo mais amplo do que os dados obtidos na estação anemométrica de Taíba, litoral do Estado do Ceará. Observou-se no decorrer deste trabalho que existe uma relação entre a morfologia das dunas e o tipo de vento dominante; sendo assim, conclui-se através do posicionamento espacial das dunas transversais e pelo método de datação absoluta ^{14}C , que o regime de vento no segmento estudado não sofreu mudanças significativas a partir do início do processo deposicional das dunas transversais móveis atuais. Este período corresponde ao tempo em que uma duna barcana (ponto de monitoramento) do sistema eólico transversal atual levou para percorrer 12 km sobre a planície costeira de Paracuru, Ceará. Considerando a extensão do campo de dunas da área de estudo e o imenso volume de material, admite-se que a paisagem eólica atual correspondente ao sistema de dunas transversais móveis entre Macau no Estado do Rio Grande do Norte e Jericoacoara no Estado do Ceará tenha menos de 1320±50 AP, estimada como muito recente. Este resultado, comparado à projeção de uma taxa de migração de dunas móveis de 11,0m/ano sobre uma pista de vento "fetch" de 12km, confirma com razoável aproximação a idade absoluta do último registro de eolianito obtida através do método ^{14}C e o início da sedimentação atual, geradora do sistema de dunas móveis transversais.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Louis Martin pela gentil cessão da amostra Brasil 03 OBDY e à Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, A.M.F., 1996. **Interpretação paleoambiental do sistema de dunas fixadas do médio rio São Francisco, Bahia**. 174p. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BARRETO, A.M.F.; TATUMI, S.H.; SUGUIO, K; NAGATOMO, T; & WATANABE, S., 2001. O Quaternário tardio no sistema de dunas fixadas do médio rio São Francisco (Bahia) datado pelo método da termoluminescência. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6., 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEQUA, p.171-175.
- BRAGA, A.P.G.; PASSOS, C.A.B.; SOUZA, E.M; FRANÇA, J.B; MEDEIROS, M.F. & ANDRADE, V.A., 1981. Geologia da região nordeste do Estado do Ceará. **Projeto Fortaleza**, Brasília, p.123.
- CARVALHO, A.M., 2003. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões - costa NW do Estado do Ceará: ênfase em processos eólicos**. 188p. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- CASTRO, J.W.C., 2001. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru - Ceará**. 202p. Tese (Doutorado em Geomorfologia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- CASTRO, J.W.A., 2004. Transporte eólico de sedimentos e migração de dunas sobre o promontório de Paracuru - litoral setentrional do nordeste brasileiro. **Boletim do Museu Nacional, Nova Série, Geologia** (72):1-12.
- CASTRO, J.W.A., 2005. Buring processes carried out by a mobile transversal dunefield, Paracuru County, State Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, **49**(2):214-219.
- CASTRO, J.W.A; GONÇALVES, A. R. & GURGEL Jr., J.B., 1998. Os eolianitos da costa oeste do Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 40, Belo Horizonte - MG. **Anais SBG**, Vol. único, 259p.
- CASTRO, J.W.A. & RAMOS, R.R.C., 2005. O significado das datações em eolianitos como parâmetro para determinação da idade das dunas móveis no litoral do Estado do Ceará. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10°, Guarapari (ES). **Anais...**, Guarapari: ABEQUA, p.50-54.
- CLAUDINO-SALES, V., 2002. **Les littoraux du Ceará: evolution géomorphologique de la zone côtière de L'Etat du Ceará, du long term au court terme**. 532p. Thèse (Doctorat), Université Sorbone, Paris.
- FRYBERGUER, S.G., 1979. Dunes forms end wind regime. In: A study of global sand seas. **Geological Survey Professional Paper**, **1052**(1):137-169.
- GOLDSMITH, V. 1978. **Coastal Dunes**. Berlin: Springs Verlag, 456p.
- McKEE, E.D., 1979. Introduction to a study of global sand seas. In: MCKEE, E.D. (Ed.) **A study of global sand seas**. U.S. Geological Survey Professional Paper, **1052**(1):1-20.
- MULLER, G., 1970. Petrology of the cliff limestone, North Bimini, Bahamas. **Geology and Paleontology**, **2**(1):485-496.
- PERRIN, P. & COSTA, M.I.P., 1982. As dunas litorâneas da região de Natal - RN. In: ATAS DO SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO DO BRASIL, 4., Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte: ABEQUA. p.291-304.
- PETTJOHN, F.J., 1957. **Sedimentary Rocks**. New York: Harper (2. ed.). 530p.
- POUPEAU, G.; SOUZA, J.H. & SOLIANI JÚNIOR, E.L., 1994. Dating quartzose sand of the coastal province of Rio Grande do Sul, Brazil by thermoluminescence. **Pesquisas**, **16**(1):250-268.
- SAYLES, R.W., 1931. Bermuda during the ice age. **Proceedings of the American Academy of Arts and Science**, **66**(1):381-468.
- SUGUIO K; TATUMI, S.H.; & BARRETO, A.M.F., 2003. Comparação entre o método radiocarbono (¹⁴C) e da termoluminescência (TL) na datação do Quaternário. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO QUATERNÁRIO, 9., Recife **Anais...** Recife: ABEQUA. p.171-175.
- WARD, W.C., 1973. Influence of climate on the early diagenesis of carbonate eolianites. **Geology**, **1**(1):171-174.
- XITAO, Z., 1988. Eolianites in Fujian, **Journal of Coastal Research**, Special Issue, **3**(1):83-90.