

# **Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil**

## *Registro ímpar de um paleo-sistema eólico costeiro*

**Alexandre Medeiros de Carvalho<sup>1</sup>****Vanda Claudino-Sales<sup>2</sup>****Luis Parente Maia<sup>3</sup>****João Wagner Alencar Castro<sup>4</sup>**<sup>1</sup> Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará<sup>2</sup> Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará<sup>3</sup> Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), Universidade Federal do Ceará<sup>4</sup> Laboratório de Geologia Costeira e Sedimentologia - Museu Nacional e Departamento de Geologia / UFRJ

© Carvalho,A.M.;Claudino-Sales,V.; Maia,L.P.; Castro,J.W.A. 2008. Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil - Registro ímpar de um paleo-sistema eólico costeiro. *In*: Winge,M.; Schobbenhaus,C.; Souza,C.R.G.; Fernandes,A.C.S.; Berbert-Born,M.; Queiroz,E.T.; (*Edit.*) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publicado na Internet em 18/03/2008 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio118/sitio118.pdf> [atualmente <https://sigep.eco.br/sitio118/sitio118.pdf>]

[Ver versão final do **[CAPÍTULO IMPRESSO](#)** em: Winge,M. (Ed.) *et al.* 2009. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. 515 p. il. color.]

# Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil

## *Registro ímpar de um paleo-sistema eólico costeiro*

SIGEP 118

Alexandre Medeiros de Carvalho<sup>1</sup>

Vanda Claudino-Sales<sup>2</sup>

Luis Parente Maia<sup>3</sup>

João Wagner Alencar Castro<sup>4</sup>

Os eolianitos (\*), distribuídos ao longo de quase toda a costa noroeste do Ceará, são formados por pacotes de rocha sedimentar arenosa, quartzo-bioclástica, com cimento de carbonato de cálcio. Constituem uma unidade geológica holocênica, rara no litoral brasileiro, com estruturas e composição de características especiais que fornecem importantes informações sobre a dinâmica eólica e as condições climáticas e de ambiente costeiro existentes à época de sua formação. O caráter litificado dos materiais desta unidade propiciou sua preservação ao longo do tempo, embora os níveis mais friáveis da rocha tenham facilitado a ação erosiva do vento e da chuva, contribuindo para o aspecto descontínuo de sua distribuição. Os depósitos de eolianitos invariavelmente exibem estruturas sedimentares primárias internas ou sindeposicionais bem desenvolvidas, observando-se estratificações de grande porte, predominantemente plano-paralelas e cruzadas em forma de cunha, embora as acanaladas ou festonadas também sejam relativamente bem representadas, além de outras estruturas menos comuns. Esses depósitos litificados exibem formas de relevo ruíniforme, essencialmente produzidas por abrasão eólica, que são conhecidas pelos nativos sob a denominação de “cascudos” em razão da rigidez que apresentam comparativamente aos demais depósitos eólicos.

A correlação entre as características desses depósitos com os eólicos atuais e seu bem conhecido padrão de evolução e dinâmica, conduziu à interpretação de que a maioria desses eolianitos corresponde a uma fase de baixo nível de mar, com intensa ação eólica, onde predominavam dunas compostas, com formação de grandes dunas parabólicas na fase final dessa evolução. Um aspecto importante desse sistema eólico é a presença de inúmeros registros de ocupações humanas antigas, representadas por fogueiras e fragmentos líticos diversos.

**Palavras-chave:** Eolianitos, Estruturas sedimentares, Morfologia eólica, Área costeira cearense

### **Eolianites of Flecheiras/Mundaú, Northwestern Coast of Ceará State, Brazil: An unique record of a coastal aeolian paleo- system**

*The eolianites, distributed along the northwestern part of Ceará State coast, are formed by arenaceous rock deposits of quartz-bioclastic composition, cemented by calcium carbonate. This unit establishes an unique record of aeolian activity with peculiar features, rare on the Brazilian littoral, whose particular characteristics, preserved in its structures and composition, highlight a large potentiality to provide relevant informations about coastal environment conditions at the time of its formation. The lithified character of these deposits has provided its preservation along the time; however, more friable parts have facilitated erosive wind action, contributing for the discontinuity of distribution and morphology of eolianites. The eolianite deposits invariably display outcrops with large scale sedimentary inner structures, mainly plane-parallel and planar cross-strata, although cross-braided and festooned forms are also relatively well represented, besides other less common. The deposits display aeolian abrasion “ruin” morphology and have a high rigidity comparatively to other aeolian deposits. The correlation between them and current active dunes has lead to the interpretation that*

*most of eolianites records are representative of an evolution phase represented by the formation of compound dunes, with parabolic dunes accumulation at the final stage. An important aspect of these deposits is also the presence of ancient human occupation records, represented by man fragments of manufactured lithics tools and fires.*

**Keywords:** eolianite, sedimentary structures, aeolian morphology, coastal area of Ceará state

### **INTRODUÇÃO**

A zona costeira do Estado do Ceará estende-se por 570 km, entre os estados do Rio Grande do Norte e Piauí. As principais unidades geomorfológicas presentes nesse trecho de litoral são: baixos platôs sedimentares sustentados pela Formação Barreiras e, acima desta formação, recobrimdo parte dos platôs, a planície quaternária, com depósitos de várias origens (fluviais, lagunares e, principalmente, eólicos). Os depósitos eólicos formam extensos campos de dunas, que se dispõem entre a faixa de pós-praia e cerca de 10 km em direção ao continente.

(\*) **Nota do editor:** os autores usam o termo “eolianitos” no sentido de “ocorrências de eolianito”

O termo eolianito foi definido por Sayles (1931) como toda rocha sedimentar cuja deposição foi controlada pela ação do vento. Definições genéricas, tais como “rocha de duna” (*dune rock*) e calcarenito eólico, também foram empregadas. Nas regiões costeiras, essa rocha é composta por grande quantidade de carbonato biogênico retrabalhado de sedimentos marinhos rasos (Fairbridge and Johnson, 1978; Tinley, 1985; Brooke, 2001 e Price et al., 2001). Tinley (1985) explica sua cimentação a partir da percolação no solo de água contendo carbonato de cálcio derivado de fragmentos biogênicos.

Na costa noroeste do Estado do Ceará, os eolianitos foram igualmente definidos como depósitos

eólicos cimentados por carbonato de cálcio, segundo um processo que (Maia *et al.*, 1997) envolveu a dissolução de carbonatos presentes em fragmentos e carapaças biogênicas marinhas, transferidas da plataforma continental adjacente, onde elas ocorrem em abundância (Coutinho, 1993), para a zona costeira, durante período de baixo nível do mar e/ou de mar em descensão; tal contexto teria permitido a migração e posterior estabilização dos depósitos eólicos. Em seguida, ocorreu saturação por água meteórica e cimentação, a partir da precipitação dos carbonatos solubilizados. Carvalho (2003) considerou que o processo de cimentação teria sido semelhante ao que ocorre na formação de calcretes.



**Figura 1** – Afloramento de *sets* sedimentares cruzados, acanalados ou festonados, sobrepostos a um *set* tabular em eolianitos na praia de Flecheiras. Afloramento com cerca de três metros de comprimento e dois de altura. Foto: A.M. Carvalho.

**Figure 1** – Outcrop of sedimentary crossed, braided and festooned structures over a tabular set, in Flecheiras beach eolianites. The outcrop is longer of 3 m and 2 m high. Photo by A.M. Carvalho

Um aspecto marcante dos eolianitos no Estado do Ceará é o excelente estado de conservação de suas estruturas deposicionais internas (Fig.1), facilitando a interpretação da morfodinâmica costeira à época de sua formação. Acrescenta-se a esse fato a exuberante beleza cênica que tais estruturas apresentam.

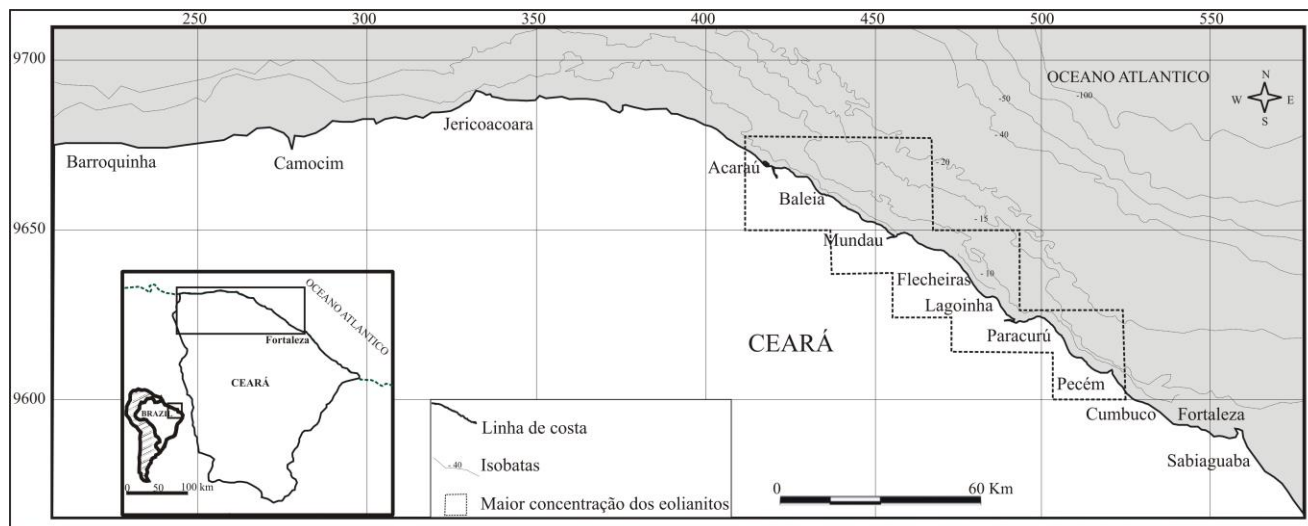
O processo de caracterização e mapeamento dos eolianitos no Estado Ceará encontra-se relativamente avançado, se comparado ao litoral do Rio Grande do Norte, Piauí e Maranhão, onde tais formas também estão presentes. Ainda assim, eles carecem de estudos mais específicos, e necessitam de

maior divulgação no âmbito nacional e regional, para que possam despertar interesse da comunidade científica e política. A ausência de proteção adequada para esses depósitos sedimentares poderá levá-los a um processo de degradação generalizada, sobretudo se considerarmos a pressão urbana que na atualidade caracteriza o litoral do Estado do Ceará. Caso tal situação se concretize, será inviabilizada a implementação de novos estudos sobre esse importante registro do passado geológico, ainda não completamente desvendado na sua plenitude.

## LOCALIZAÇÃO

Os eolianitos estão distribuídos de forma descontínua ao longo de quase todo o trecho noroeste da costa cearense (Fig.2), numa faixa de terra que varia de algumas dezenas a centenas de metros de largura, sendo mais comuns entre as localidades de Pecém e Acaraú. Tal ocorrência é explicada pela presença de carbonatos na plataforma interna adjacente, próximos da faixa de praia.

Para efeito de individualização de um sítio em particular, foram consideradas a representatividade das estruturas internas das rochas e dos afloramentos, bem como a facilidade de acesso. Tais critérios indicaram com sítio de análise o trecho situado entre as localidades de Flecheiras e Mundaú (Fig.2), com seu centro posicionado nas coordenadas 03°12'07"S – 039°19'21"W.



**Figura 2** – Localização da área estudada e do trecho de maior ocorrência de eolianitos na costa noroeste do Ceará.

*Figure 2* – Location of the studied area, highlighting the segment of highest presence of eolianites in the Ceará State coast.

## DESCRIÇÃO DO SÍTIO

Três a quatro gerações de depósitos eólicos foram identificadas na costa do Estado do Ceará (Carvalho & Maia, 1990; Maia, 1998; Castro, 2001; Claudino-Sales, 2002; Carvalho, 2003). Em síntese, podem ser descritas nos seguintes termos:

(1) palaeodunas do Pleistoceno, sem formas definidas, situadas no topo da Formação Barreiras, formadas por areias quartzosas não consolidadas, variando de grãos finos a grãos médios de uma cor vermelha escura;

(2) dunas parabólicas estabilizadas formadas por areias quartzosas inconsolidadas, de granulometria média a fina, com cores que variam de laranja a cinza;

(3) eolianitos friáveis ou fortemente litificados, formados por areias quartzosas de granulometria média a fina, cimentadas por carbonato de cálcio, situados acima da planície marinha holocênica, mas abaixo do sistema de dunas móveis atual. Essas dunas teriam sido originadas durante o baixo nível marinho do Holoceno superior. Dessa forma, elas representam um pacote de dunas móveis que, estabilizadas, foram posteriormente parcialmente litificadas por cimentação carbonática;

(4) dunas ativas atuais, incluindo barcanas, barcanóides e lençóis de areia, formadas por areias quartzosas de granulometria média a fina. Essas dunas ativas estão separadas da faixa litorânea por uma planície de deflação de 600 m a 2000 m de largura, e migram sobre o topo de gerações de dunas mais antigas.

Os eolianitos estão distribuídos em faixas oblíquas ao longo da costa, numa distância que varia de 3 a 6km da linha de costa, para o seu limite interno. Eventualmente o limite externo desses depósitos situa-se a uma distância de não mais que algumas dezenas de metros, muitas vezes aflorando na praia, quando se apresentam então à disposição do ataque das ondas.

Os afloramentos comumente expõem seções verticais que foram postas em evidência em função da ação abrasiva do vento. Tal processo abrasivo expôs estratos bem delimitados, assim como superfícies com topos tabulares de aspecto ruíniforme, caracterizados pela presença de sulcos orientados na direção do vento principal, segmentos de vertentes íngremes e cristas bastante irregulares (Fig.3 e 4), formando-se feições do tipo “yardang” e “*zungen*”, como observadas por Carvalho *et al.* (1994) e Claudino-Sales (2002) (Fig.4).





**Figura 3** - Superfície de deflação expondo corpos tabulares de eolianitos. Área com cerca de 2000m<sup>2</sup>. Praia da Baleia-CE. Foto: A.M. Carvalho.

*Figure 3* – Deflation surface exposing tabular eolianites. Surface of ca 2000 m<sup>2</sup>. Baleia Beach, Ceará. Photo by A.M.Carvalho.



**Figura 4** – Eolianitos com estratificações de grande porte e morfologia em yardang e zeugen. Praia de Flecheiras-CE. Foto: A.M. Carvalho.

*Figure 4* – Large scale stratified eolianites in Fleicheiras beach, Ceará. They expose a yardang and zeugen ruin morphology. Photo by A.M.Carvalho

Os eolianitos se apresentam estratificados, com variado grau de litificação - entre friáveis a fortemente litificados. Comumente, estão presentes raízes litificadas (Fig.5), num processo de substituição parcial da matéria orgânica por carbonato de cálcio, indicando terem sido as dunas fixadas por vegetação costeira antes de sofrerem o processo de cimentação. Essas rochas têm uma composição predominantemente quartzosa, além de uma variedade de fragmentos carbonáticos de origem orgânica marinha, com proporções subordinadas, entre os terrígenos, de minerais pesados opacos, turmalinas e feldspatos. Entre os componentes esqueléticos, que correspondem a cerca de 15% do total dos grãos da rocha, os moluscos predominam, seguidos de algas, foraminíferos, comumente dos gêneros *Quinqueloculina* e *Globigerina*, briozoários, além de pequena proporção de *Halimeda*. Esse conteúdo biodetrítico representa o principal diferencial desses depósitos eólicos em relação a seus equivalentes, sejam mais antigos ou mais jovens.

Em lâminas delgadas, o cimento apresenta uma proporção próxima de 50% da rocha, sendo composto principalmente por calcita espática, distribuída entre primária (precipitação) variando em tamanho de 50 a 100 $\mu$  e neomórfica (300 $\mu$ ), esta última mais rara. Maia *et al.* (1997) observaram a predominância de calcita com baixo teor de magnésio cimentando essas rochas, destacando a ocorrência dos tipos de cimentação de formas isópacas e em menisco para uma primeira geração de cimento, correspondendo entre 16 a 31% do conteúdo das amostras. Entre os componentes terrígenos, o quartzo predomina, correspondendo a cerca de 70 a 80% do total dos grãos, com tamanho geralmente de 0,07 a 1,00mm, e formas arredondadas a

subarredondadas. Feldspatos, opacos e demais minerais ocorrem como acessórios, em proporções de 2 a 5%. A porosidade dos eolianitos na costa cearense é predominantemente intergranular, distribuída entre primária e secundária por dissolução do carbonato de cálcio.



**Figura 5** – Raízes litificadas por  $\text{CaCO}_3$  com cerca de 10cm de comprimento dentro do eolianitos. Foto: A.M. Carvalho.

**Figure 5** – Pseudomorphosed roots by  $\text{CaCO}_3$ , longer than 10cm, in eolinite of Flecheiras beach, Ceará state, Photo by A.M.Carvalho.

As estruturas sedimentares internas estão presentes em todos os afloramentos, sendo mais comuns as estratificações plano-paralelas (Fig.6), cruzadas tangenciais em forma de cunha e estratos truncados por superfícies erosivas e cíclicas, gerando formas em ziguezague (Fig.7). Eventualmente, ocorrem estratificações acanaladas ou festonadas (Fig.8), denotando formas de estratos escalar-transladante (*climbing translational strata*) (Fig. 8).



**Figura 6** – Estratificação plano-paralela com pequeno mergulho para SW. Afloramento com pouco mais de 1,5m de espessura de camadas. Flecheiras-CE. Foto: A.M. Carvalho.

**Figure 6** – Plan-parallel stratification, dipping with low angle to SW. Outcrop thick of 1,5m. Flecheiras Beach, Ceará state. Photo by A.M.Carvalho





**Figura 7** – Estratificação cruzada, gerada por flutuação na direção de fluxo eólico. Descontinuidades erosionais e cíclicas, em forma de ziguezague. Mundaú, Ceará. Foto: A.M. Carvalho.

**Figure 7** – Cross-bedding stratification, originated by fluctuations in the wind direction. Photo by A.M.Carvalho



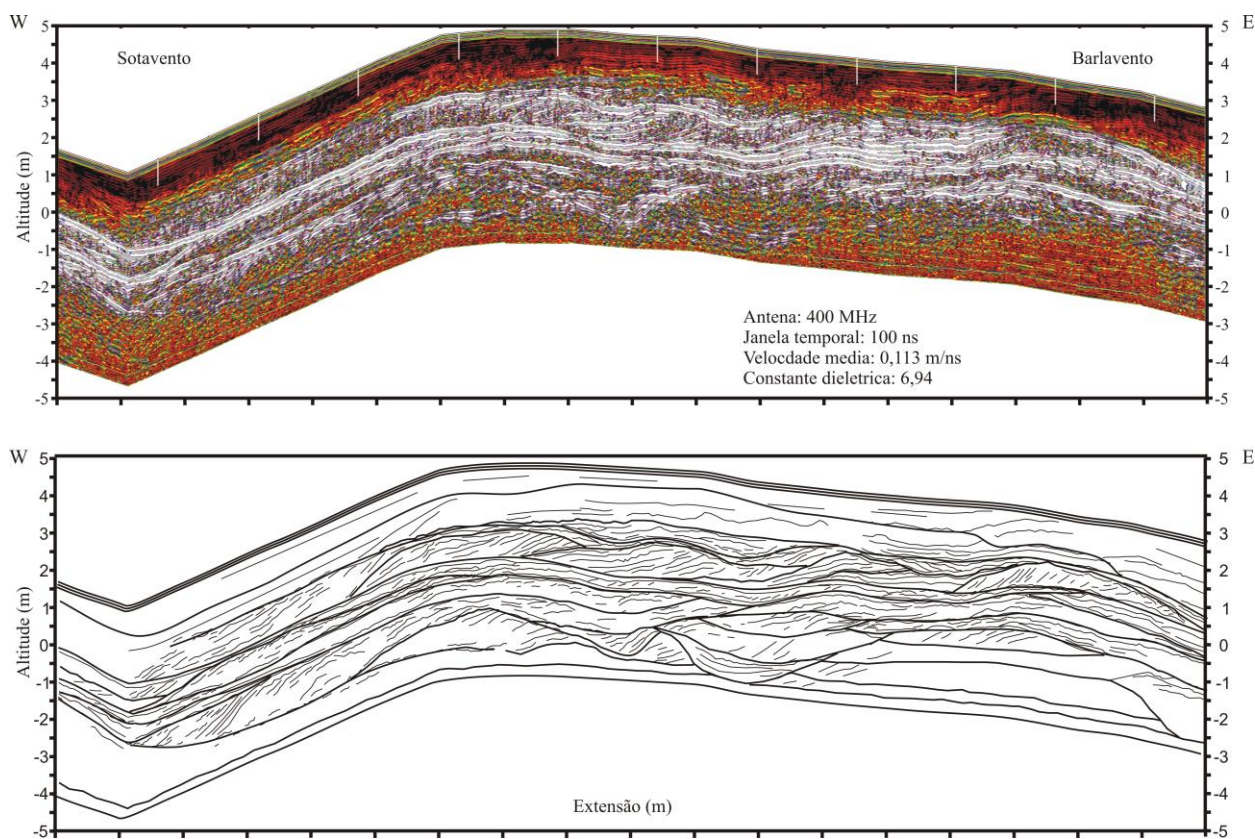
**Figura 8** – Estratificação cruzada acanalada ou festonada sobreposta a estratos plano-paralelos, denotando formas do tipo escalar-transladante. Afloramento com cerca de cinco metros de comprimento e dois de altura. Direção de migração aproximadamente da direita para a esquerda da fotografia (de NE para SW). Foto: A.M. Carvalho.

**Figure 8** – Trough cross-beds over planar laminated beds, indicating the presence of climbing translational strata. Outcrop longer of 5m and 2 m high. Migration direction roughly from right to left. Photo by A.M.Carvalho

Os pacotes de eolianitos revelam um predomínio de estratos sub-horizontais com caimento para Az 110°. Os mergulhos dos *sets* se acentuam na extremidade sudeste dos afloramentos balizados e, principalmente, nas suas porções inclinadas para noroeste, definindo, respectivamente, os depósitos das faces de barlavento e sotavento das dunas conforme pode ser visto nas seções GPR do perfil P1 (Fig.9), realizadas transversal e longitudinalmente ao eixo dos eolianitos da região de Flecheiras/Mundaú. Observaram-se estruturas que evidenciam

estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas com mergulhos direcionados preferencialmente para noroeste e sudoeste.

Medidas de atitudes realizadas nos afloramentos ao longo dos trechos dessas mesmas seções GPR mostram mergulhos com 16° a 20° SW e 5° a 7° NW na face de sotavento. Na parte central do pacote, os mergulhos foram de 4° a 10°, tanto para SW quanto para NW. A presença de *sets* cruzados em forma de festão também é confirmada em profundidade pelas principais reflexões GPR (Fig.9).



**Figura 9** - Seção GPR mostrando sucessão de camadas com estratificação cruzada acanalada ou festonada se destacam dos estratos plano-paralelos. Destaque para o processo de superposição dos estratos truncados. (Reinterpretado de Castro *et al.* (2006).

**Figure 9** – GRP section exposing trough cross-beds differ from the underlying plan-parallel strata. It also highlights the superposition of truncated strata (re-interpreted after Castro *et al.*, 2006).

Nesses estudos de seções GPR, Castro *et al.* (2006) consideraram que a cimentação carbonática diminui o fluxo hidráulico nos eolianitos, permitindo o acúmulo de água intersticial, preferencialmente entre os estratos plano-paralelos. Tal situação, segundo esses autores, seria favorável à geração de contrastes de permissividade dielétrica entre os níveis mais e menos saturados, cuja resposta GPR é assinalada por fortes reflexões estratiformes, com picos de amplitude do sinal eletromagnético.

Esses estudos, realizados na localidade de Flecheiras-CE por Castro *et al.* (2006), mostraram que a porção mais superficial das seções GPR é dominada por uma faixa contínua de refletores plano-paralelos de baixa amplitude com espessura média em torno de 1,0 a 2,0 m (Fig.9). Esta unidade geofísica superior é representada pelos eolianitos e sedimentos eólicos mais recentes, secos ou pouco saturados. A sequência subjacente é destacada pelos marcantes refletores de eolianitos saturados com água meteórica, localizando-se a profundidades de 1,5 a 2,0 m (Castro *et al.* (2006).

Esse caráter marcado por seções GPR delimita ou destaca os eolianitos das unidades inferiores e mostra também que eles usaram, em muitos casos, dunas mais antigas e de composição distinta, como substrato de cavalgamento. Essas seções GPR confirmam ainda a boa homogeneidade e continuidade dessas rochas,

com centenas de metros ao longo do seu maior alongamento (Fig.9).

As seções GPR, segundo Castro *et al.* (2006), comprovam a pouca espessura dos eolianitos que varia entre 1,0 a 5,0 m na região de Flecheiras, somando-se várias camadas geolétricas sobrepostas. Essas características são verificadas também nas demais localidades onde os eolianitos afloram.

O rápido decaimento das amplitudes das reflexões, na base das seções GPR, é devido à diminuição do nível de litificação dos pacotes arenosos. Castro *et al.* (2006) também corroboram a tese de Carvalho (2003) de que os eolianitos são resquícios de um processo de cavalgamento em transgressão eólica de dunas compostas por frações sedimentares ricas em bioclásticos carbonáticos sobre outras com baixo teor deste material.

Para Maia *et al.* (1997), os valores de  $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ , variando de -8,19 e -8,66% com média de -8,46% determinados para os eolianitos, significam a existência de um ambiente de precipitação continental e o cimento do tipo menisco (gravitacional) um indicativo de precipitação na zona vadosa. Dados ainda não publicados de análises isotópicas do cimento dessas rochas, realizadas no LABISE (Laboratório de Isótopos Estáveis-UFPe) em 1992, apontam para resultado semelhante.



A idade desses depósitos tem sido avaliada há algum tempo, no entanto, somente em trabalhos mais recentes se introduziu dados mais precisos de datação, a exemplo do método  $^{14}\text{C}$  do cimento carbonático. Apesar disso, não se tem certeza da época de formação das dunas que deram origem aos eolianitos, pois as datações, até então, têm revelado apenas a época de litificação desses depósitos. Um dos primeiros trabalhos a utilizarem esse método foi o de Castro (2001). Os resultados obtidos revelaram idades entre  $1.780 \pm 80$  a  $1.320 \pm 50$  anos A.P, calibrados pelo programa CALIB 5.0.1 em 736 a 1481 anos A.P (Castro *et al.*, 2006).

A gênese dos eolianitos, assim como a das dunas em geral, frequentemente tem sido relacionada com as oscilações do nível do mar (*e.g.* Cooper, 1958; Rodríguez-Ramírez *et al.*, 1996; Kindler & Mazzolini, 2001; Arbogast *et al.*, 2002; Catto *et al.*, 2002; Pereira & Angelucci, 2004, dentre outros). Na costa cearense, esse tipo de correlação teve início com Carvalho & Maia (1990), seguidos por Maia (1993), Carvalho *et al.* (1994), Claudino-Sales (2002) e Carvalho (2003). A grande maioria desses trabalhos considera que a condição ideal para a formação dessas morfologias eólicas na costa cearense deve estar associada a um nível de mar inferior ao atual.

Esse entendimento acerca do nível de mar baixo à época de formação dos eolianitos ganha respaldo na composição dessas rochas e na sua distribuição espacial ao longo da costa, que Carvalho (2003) e Branco *et al.* (2007) consideram, à luz do padrão dinâmico das dunas atuais, serem incompatíveis com a posição da linha de costa atual. Quanto à direção dominante do vento à época da formação, a análise das estruturas sedimentares indica a predominância de ventos que partiam de sudeste em direção a noroeste. Tal situação é semelhante ao que ocorre na atualidade.

## SINOPSE SOBRE A ORIGEM, EVOLUÇÃO GEOLÓGICA E IMPORTÂNCIA DO SÍTIO

Os eolianitos representam sedimentos de antigas dunas eólicas que passaram por processo de cimentação carbonática de seus grãos constituintes. Esse tipo de depósito é encontrado em zonas costeiras, sendo composto por areias quartzosas e grande quantidade de carbonato originário de organismos (carbonato biogênico). No Estado do Ceará, os eolianitos ocorrem como feições singulares em pequenas elevações que se distribuem obliquamente por quilômetros ao longo da linha de costa, por vezes em contato direto com o mar.

O carbonato biogênico, fragmentos de conchas principalmente, presente nos eolianitos, originou-se em ambientes marinhos rasos. Dentro de um ciclo evolutivo quaternário, pode-se colocar as seguintes etapas necessárias à remoção, acumulação e cimentação do material:

1. Acumulação de carbonato biogênico (fragmentos de conchas, carapaças de organismos) em ambiente marinho raso e litorâneo;
2. Rebaixamento relativo do nível marinho, resultando em recuo do mar. Dessa forma, os sedimentos da plataforma continental, rica em carbonatos biogênicos, ficaram expostos à ação do vento;
3. Os ventos removeram os sedimentos com grande conteúdo de carbonatos biogênicos da plataforma continental descoberta e os transportaram para a zona costeira, onde eles, misturados com outros sedimentos, formaram dunas;
4. Com a descontinuidade da regressão marinha, as dunas cessaram a migração, e foram estabilizadas, ficando sujeitas à ação das chuvas: as águas pluviais dissolveram os fragmentos de conchas e carapaças biogênicas existentes no depósito. Dessa forma, infiltrou na duna água rica em carbonato de cálcio dissolvido;
5. Próximo da superfície, a temperatura mais elevada do ar promoveu evaporação da água, que ascendeu por capilaridade: os carbonatos dissolvidos na água, que não são voláteis, cristalizaram-se nos poros das areias, endurecendo os materiais que formavam as dunas. Nesse processo, eles acabaram atuando como um cimento, que solidificou os sedimentos das dunas;
6. Uma vez cimentados os pacotes eólicos, o vento, agente natural incansável, começou a erodi-los, fato que se processa até hoje. Nesse contínuo desgaste provocado pelo vento - ao qual as dunas cimentadas impuseram certa resistência - surgiram formas curiosas, que lembram ruínas de construções antigas, caracterizando assim o relevo “ruiniforme” exibido pelos eolianitos.

Os eolianitos são, assim, recentes, se colocarmos em análise a longa história evolutiva da Terra, de cerca de 4,6 bilhões de anos. Mas eles são, por outro lado, antigos quando comparados às brancas dunas móveis atuais que os circundam e que caracterizam o litoral do Estado do Ceará.

No Ceará, os eolianitos são identificados pela população de praianos pelo nome de “cascudos”, em função do grau de endurecimento de suas areias, fato que faz com que se sobressaiam entre as dunas móveis que os cercam. Essa condição de material endurecido parece ter funcionado como área de apoio importante para os grupos de índios nômades que se deslocavam pelo litoral cearense antes do período de colonização portuguesa. Com efeito, há evidências de formação de fogueiras antigas sobre o material litificado, havendo, no entorno das fogueiras, antigos artefatos humanos, demonstrando que a área era alvo de utilização por parte dessa população, provavelmente para refeições durante paradas, pois deveriam servir de abrigo para

proteção contra os fortes ventos, entre translados na zona costeira.

Os cascudos, quando analisados de perto, expõem raízes petrificadas, dando indicativo de que as dunas foram fixadas por vegetação antes de sofrerem o processo de cimentação. Também ocorrem estratos truncados, mostrando camadas com inclinações diferentes umas em relação as outras, o que chamamos de estratos cruzados. Esses fatos denotam a existência, durante o período de sua formação, de sobreposição de dunas, ou seja, de migração de dunas móveis recobrimdo dunas pré-existentes. A estratificação cruzada é uma evidência dessa sobreposição. As dunas cimentadas (os cascudos ou eolianitos) resultam de situação particular ocorrida no segmento oeste da zona costeira cearense em tempo geológico pretérito, mas recente, em cujo intervalo aparentemente ocorreu uma regressão marinha, durante a qual os ventos atuaram intensamente, de maneira a remover os carbonatos biogênicos da plataforma continental em direção ao continente. Ali se acumularam, junto com areias quartzosas, na forma de dunas. Tais dunas foram estabilizadas e, na seqüência, cimentadas, e atualmente encontram-se em processo de erosão formando os cascudos.

A estratificação permite também identificar a direção e atuação dos ventos na época de formação dos cascudos. Por estas razões, eles apresentam grande potencial para indicar as condições climáticas e geológicas existentes no passado geológico nas suas áreas de ocorrência. Por exemplo, as areias que formaram os eolianitos parecem ter sido transportadas por ventos que partiam de sudeste em direção a noroeste. Na atualidade, essa é também a situação dos ventos predominantes que moldam os cascudos na zona costeira do Ceará. Nesse contexto, em termos de direção, se analisarmos de onde vêm os ventos na região, parece não haver muita diferença entre o passado recente e a atualidade.

O conhecimento acumulado acerca da dinâmica pretérita contribui para a compreensão dos processos atuais, bem como também auxilia na previsão de cenários futuros. Considerando-se o grau de degradação ambiental que os cascudos sofrem na atualidade, o conhecimento de tais fatos e como conservar essas feições mostram-se de grande importância.

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO

O caráter frágil dos eolianitos é demonstrado pela suscetibilidade à erosão eólica e à ação antropogênica que eles apresentam (Fig.10). A necessidade da preservação também é indicada pelo fato de existirem inúmeras ocorrências de interesse arqueológico, tais como fogueiras e fragmentos de cerâmicos e líticos em geral a eles associados (Fig.11).

Em função da importância dessa unidade geoambiental, o Plano Estadual do Gerenciamento Costeiro do Ceará transforma, no seu Art.15, os eolianitos como feição de preservação permanente, no âmbito do território do Estado do Ceará.

Apesar dos avanços legais, é necessário implantar medidas concretas para sua preservação, dependentes de estudos específicos que possam definir métodos de proteção contra a erosão e o avanço da urbanização, assim como medidas que envolvam o interesse das comunidades situadas no entorno dessas unidades naturais.



**Figura 10** – Processo de ocupação desordenada com construção de casas sobre afloramentos de eolianitos na costa de Baleia-CE. Foto: A.M.Carvalho.

**Figure 10** – Disorganized occupation with house building in the eolianites outcrops in the Baleia beach, Ceará state. Photo by A.M.Carvalho



**Figura 11** – Registro de fogueiras (A) e fragmentos líticos (B) compondo sítios arqueológicos eólicos com ocorrências de cerâmicas na região costeira de Itapipoca-Ceará. Foto: L.P.Maia.

**Figure 11** – Archeological evidences of ancient uses on the eolianites sites, as fire and lithical fragments, in the coastal area of Itapipoca, Ceará state. Photo by Lp.Maia

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbogast, A.F.; Hansen, E.C.; Van Oort, M.D. 2002. Reconstructing the geomorphic evolution of large coastal dunes along the southeastern shore of Lake Michigan, *Geomorphology* **46**:241-255.
- Branco, R.M.G.C.; Carvalho, A.M.; Castro, D.L.; Dominguez, J.M.L. 2007. Padrão de transporte eólico como ferramenta na determinação do posicionamento dos eolianitos e respectiva linha



- de costa à época de sua formação na costa noroeste do Ceará. In: *XII Congresso Latino-Americano de ciências do mar*, AOCEANO. Florianópolis.
- Brooke, B. 2001. The distribution of carbonate eolianite, *Earth-Science*, **55**:135-164.
- Carvalho, A.M. 2003. Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões-Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos. *Tese de Doutorado*, Salvador. 188p.
- Carvalho, A.M.; Coutinho, P.N.; Morais, J.O. 1994. Caracterização geoambiental e dinâmica costeira da região de Aquiraz na costa leste do Estado do Ceará. *Revista de Geologia*, Fortaleza, **7**:55-68.
- Carvalho, A.M.; Maia, L.P. 1990. Estudos dos sedimentos Cenozóicos da região de Paracuru, Ceará, Brasil. *Relatório de Graduação*. Universidade Federal do Ceará. Dep. Geol. Fortaleza. 86p.
- Castro, J.W.A. 2001. Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru-Ceará. *Tese de Doutorado*, Rio de Janeiro. 200p.
- Castro, J.W.A.; Ramos, R.R.C. 2006. Idade das dunas móveis transversais no segmento entre Macau e Jericoacoara – Litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, **64**(4): 361-367.
- Castro, D.L.; Carvalho, A.M.; Branco, R.M.G.C. 2006. Uso do GPR no estudo da estruturação interna de depósitos de eolianitos na região costeira de Uruoca-CE. Fortaleza. *Revista de Geologia*, **19** (1): 126-134.
- Catto, N.; MacQuarrie, K.; Hermann, M. 2002. Geomorphic response to Late Holocene climate variation and anthropogenic pressure, Northeastern Price Edward Island, Canada. *Quaternary International*, **87**: 101-117.
- Claudino-Sales, V.C. 2002. Les littoraux du Ceará. Géomorphologie de la zone côtière de l'Etat du Ceará: du long terme au court terme. *Thèse de doctorat*, Université Paris-Sorbonne, France, 549p.
- Cooper, W.S. 1958. Coastal dunes of Oregon and Washington. *The Geological Society of America, Memoir* **72**, 169pp.
- Coutinho, P. N. 1993. Sedimentos Carbonáticos da Plataforma Continental Brasileira. *Revista de Geologia da UFC*, **6**: 65-75.
- Fairbridge, R.W.; Johnson, D.L. 1978. Eolianites. In: R.W. Fairbridge and Bourgeois, Editors, *The Encyclopedia of Sedimentology*, Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, pp.279-282.
- Kindler, P.; Mazzolini, D. 2001. Sedimentology and petrography of dredged carbonate sands from Stocking Island (Bahamas). Implications for meteoric diagenesis and aeolianite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **175**: 369-379.
- Maia, L.P.; 1998. Procesos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicações para una gestión adecuada de la zona litoral. Universitat de Barcelona. Facultat de Geologia. Dep. D'Estratigrafia i Paleontologia. *Tesis Doctoral*. Barcelona. 269p.
- Maia, L.P.; Sabadia, J.A.; Freire, J.S.S.; Serra, J. 1997. Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos bechrocks e eolianitos da região costeira do Ceará. *Boletim XVII Simpósio de Geologia do Nordeste*: 177-181.
- Pereira, A.R.; Angelucci, D.E. 2004. Formações dunares no litoral português do final do Pleistoceno e inícios do Holoceno como indicadores paleoclimáticos e paleogeográficos. In: A.A. Tavares, M.J.F. Tavares & J.L. Cardoso, Editores, *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenômenos Correlativos*, Universidade Aberta, Lisboa, pp. 221-256.
- Price, D.M.; Brooke, B.P.; Woodroffe, C.D. 2001. Thermoluminescence dating of aeolianites from Lord Howe Island and South-West Western Australian. *Quaternary Science Reviews*, **20**: 841-846.
- Rodriguez-Ramirez, A.; Rodriguez-Vidal, J.; Carceres, L.; Clemente, L.; Belluomini, G.; Manfra, L.; Improta, S.; Andres, J.R. 1996. Recent coastal evolution of the Donana National Park (SW Spain). *Quaternary Science Reviews*, **15**: 803-809.
- Sayles, R.W. 1931. Bermuda during the ice age. *Proc. Acad. Arts. Sci.* **66**:381-486.
- Saqqa, W.; Atallah, M. 2004. Characterization of the aeolian terrain facies in Wadi Araba Desert, southwestern Jordan. *Geomorphology*, **62**: 63-87.
- Tinley, K.L. 1985. Coastal dunes of South Africa, *South African National Scientific Programmes Report Vol. 109*, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa, 300p.

<sup>1</sup> Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará - [medeiros@ufc.br](mailto:medeiros@ufc.br)

<sup>2</sup> Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará - [yves@ufc.br](mailto:yves@ufc.br)

<sup>3</sup> Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), Universidade Federal do Ceará - [luisparente@labomar.ufc.br](mailto:luisparente@labomar.ufc.br)

<sup>4</sup> Laboratório de Geologia Costeira e Sedimentologia - Museu Nacional e Departamento de Geologia / UFRJ - [iwacastro@gmail.com](mailto:iwacastro@gmail.com)

## ***CURRÍCULUM SINÓPTICO DOS AUTORES***



**Alexandre Medeiros Carvalho** - Geólogo pela Universidade Federal do Ceará, Mestre em Sedimentologia pela Universidade Federal de Pernambuco e Doutor em Dinâmica Costeira pela Universidade Federal da Bahia.

Está lotado no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Dedica-se à pesquisa nas áreas de dinâmica costeira, com enfoque em atividade eólica e em processos erosivos e deposicionais. É revisor de periódicos da Revista de Geologia (Fortaleza) (0103-2410) e avaliador do SINAES. Em seu currículo Lattes destacam-se os termos: Dinâmica Costeira, Morfodinâmica Litorânea, Erosão e Deposição Costeira e Impactos Ambientais.



**Vanda Claudino-Sales** - Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNP - Nível 1D - Bacharel em Geografia pela Universidade de Brasília, mestra em Geografia pela Universidade de São Paulo, doutora em Geografia pela

Université Paris-Sorbonne, França e pós-doutora pela University of South Florida, EUA. Atualmente, é professora visitante da Universidade Paris-Sorbonne, professora visitante da University of South Florida e professora adjunto do departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meio Ambiente Costeiro e Litorâneo e Megageomorfologia do Nordeste brasileiro.



**Luís Parente Maia** - Bolsista de produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2 Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Ceará (1989), mestrado em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (1993) e

doutorado em Ciencias del Mar - Universidad de Barcelona (1998). Atualmente é editor da Revista de Geologia (Fortaleza) (0103-2410), professor Associado da Universidade Federal do Ceará e Diretor do Instituto de Ciências do Mar-Labomar/UFC. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: Ceará, praias, impactos ambientais e proteção costeira.



**João Wagner de Alencar Castro** - Geólogo, Especialista em Avaliação de Impacto Ambiental - COPPE/UFRJ (1987) e Educação Ambiental - UNB (1986), Mestre em Sedimentologia - Geologia pela

Universidade Federal de Pernambuco (1995) e doutorado em Geomorfologia (Geografia) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2001). Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenador do Laboratório de Geologia Costeira e Sedimentologia do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional - UFRJ. Suas principais áreas de interesse e atuação são: Erosão costeira aplicada à engenharia, estudos dos processos eólicos em dunas costeiras e energia eólica, assoreamento de corpos lacustres e barragens, transporte de sedimentos em praias e áreas portuárias, contaminação de praias, estudos, perícia e avaliação de impactos ambientais em terrenos sedimentares.