

# **CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS DE FLEXEIRAS, BALEIA, PARACURU E JERICOACOARA, COSTA NOROESTE DO CEARÁ**

Characterization of the migration process of dunes at Flexeiras, Baleia, Paracuru and Jericoacoara, Northwest Ceará State, Brazil

Alexandre Medeiros de Carvalho<sup>1</sup>, Luís Parente Maia<sup>2</sup>, José Maria Landim Dominguez<sup>3</sup>

## **RESUMO**

*Este trabalho, abrangendo as localidades de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, costa NW do Estado do Ceará, visou avaliar o processo de migração de dunas, considerando suas características morfológicas, dimensões e volumes, além de buscar qualificar a influência da pluviometria sobre sua dinâmica. A caracterização das taxas de migração das dunas foi baseada na medição direta, em campo, e indireta, por meio de imagens de satélite, das distâncias entre suas sucessivas marcas de deslocamento. As dimensões e volumes das dunas foram obtidos a partir de levantamentos topográficos e de sensoriamento remoto. O confronto dos dados referentes às dimensões e volume das dunas e respectiva pluviometria do período de sua formação com as taxas de migração revelou haver uma boa correlação inversa entre o volume e as principais dimensões das dunas com sua respectiva velocidade de migração, sendo também configurado um expressivo controle climático no desenvolvimento e movimentação das dunas eólicas na região.*

**Palavras-chaves:** *dunas, migração, características, Estado do Ceará.*

## **ABSTRACT**

*This research work, which sought to comprise the coastal locations of Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, Northwest Ceará State, aimed at assessing the migration process of dunes, taking into account their morphological features, dimensions and volume, in addition to gauging the influence of rainfall over their dynamics. The estimation of dune migration rates was based on direct, in situ, and indirect, by means of satellite imaging, measurements of the distances between their dune tracks. The size and volume of dunes were obtained through topographical surveying and remote sensing. The comparison between such data and rainfall at the time of their formation showed there to occur a good inverse correlation between volume and main size features, and their respective migration speed, emphasizing the outstanding role of climate on the development and displacement of eolian dunes in Northwest Ceará State.*

**Key words:** *eolian dunes, migration, characteristics, Ceará State.*

<sup>1</sup> Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza.

<sup>2</sup> Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Av. da Abolição, 3207, Fortaleza.

<sup>3</sup> Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Geremoabo, s/n, Ondina, Salvador.

## INTRODUÇÃO

A avaliação das taxas de migração de dunas eólicas tem motivado uma série de autores a buscarem, de acordo com cada caso específico, formas de mensurar o valor do transporte de sedimentos no sentido do avanço dessas formas de leito, a exemplo dos trabalhos realizados por Finkel (1959), Long & Sharp (1964), Wilson (1973), Fortes (1987), Tomazelli (1993), Jiménez *et al.* (1998), Maia (1998) e Carvalho (2003), entre outros.

As metodologias utilizadas envolvem medidas indiretas, através de técnicas de sensoriamento remoto, medições diretas, realizadas em campo, usando como referência as marcas produzidas pelo deslocamento de dunas, além do monitoramento da movimentação de dunas a partir de pontos de amarração, sejam naturais ou implantados em campo.

Muitos autores, a exemplo de Bagnold (1941), Finkel (1959), Long & Sharp (1964), Jiménez *et al.* (1998), Maia (1998) e Carvalho (2003), têm utilizado processos empíricos, associando formulações matemáticas para o cálculo de potencial de transporte eólico, muitas vezes, associados às dimensões e formato das dunas.

Entre esses trabalhos, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para avaliar a migração de dunas, principalmente aquelas que utilizam fotografias aéreas e imagens de satélite multi-temporais, têm sido muito difundidas, embora os processos diretos de medições em campo também sejam bastante utilizados.

Na costa nordestina do Brasil, alguns trabalhos têm sido executados abordando esta temática, resultando, até então, em distintas médias de velocidade para a migração de dunas. Fortes (1987), baseado numa avaliação preliminar usando fotografias aéreas multi-temporais, sugeriu uma velocidade mínima de deslocamento de 8m/ano para dunas barcanas no Rio Grande do Norte, tendo aplicado o método indireto de medição das marcas deixadas pelo deslocamento das dunas. Já na costa cearense, alguns autores, a exemplo de Meireles *et al.* (1992), confrontaram medidas *in loco* do deslocamento de dunas barcanóides com sua avaliação através do uso de fotografias aéreas. Maia (1998) e Rodrigues (1999) também executaram trabalhos de avaliação de movimentação das dunas, associando medidas diretas, utilizando marcadores em campo, e indiretas, aplicando fotografias aéreas multi-temporais, chegando a valores respectivamente de 17 e 11 metros por ano. Sauer mann *et al.* (1998) também realizaram comparações entre as taxas de migração e os valores de transporte eólico medidos com o uso de armadilhas para sedimentos, além de auferir medições relativas à aerodinâmica das dunas barcanas, visando definir seu comportamento e migração, ob-

tendo um valor empírico de 20m/ano para a localidade de Jericoacoara.

Na costa do Rio Grande do Sul, Tomazelli (1993) foi um dos pioneiros no estudo da migração de dunas, empregando o uso de fotografias aéreas multi-temporais e monitoramento *in loco* do deslocamento de dunas com o uso de marcos de controle.

Na região costeira estudada, de um total aproximado de 2.500 km<sup>2</sup>, cerca de 1.000 km<sup>2</sup> estão sob a influência ou domínio da ação de dunas ativas. Em função disso, o conhecimento acerca dos processos eólicos, especialmente o volume e a velocidade de migração das dunas se apresentam como de extrema relevância numa região onde não são raros os exemplos de soterramento de vilas inteiras pela atividade eólica.

Para o tratamento deste tema, portanto, considerou-se importante a avaliação dos tipos, formato e dimensões e volume dos campos e de dunas isoladas, uma vez que sua movimentação tem demonstrado evidente relação com tais parâmetros.

Neste trabalho, objetivou-se, portanto, a determinação das taxas de migração de dunas, baseando-se especialmente em medidas diretas e indiretas de marcas de migração, além de associá-las à geometria, dimensões e volume das dunas, bem como confrontar esse processo com as características pluviométricas das áreas estudadas.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área selecionada para a realização deste trabalho inclui dunas isoladas e campos de dunas das localidades de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, situadas na porção noroeste do Estado do Ceará, a oeste/noroeste de Fortaleza-CE, Brasil (Figura 1).

As condições do clima, ventos e ondas na região mantêm uma estreita relação com o processo de deslocamento ou migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e com as condições meteorológicas no Hemisfério Norte, segundo demonstrado por CLIVAR/BRASIL (1998).

A ZCIT atua no controle de um forte ciclo estacional com periodicidade anual associada às mudanças das estações climáticas. Esta zona se desloca mais para o norte durante o inverno austral (entre agosto a outubro) e mais para sul, durante o verão austral (março a abril) (Figura 2).

Sua faixa de movimentação é marcada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste. Durante os meses de dezembro a abril, a ZCIT desloca-se no sentido meridional, quando, via de regra, é caracterizada a estação de chuvas na

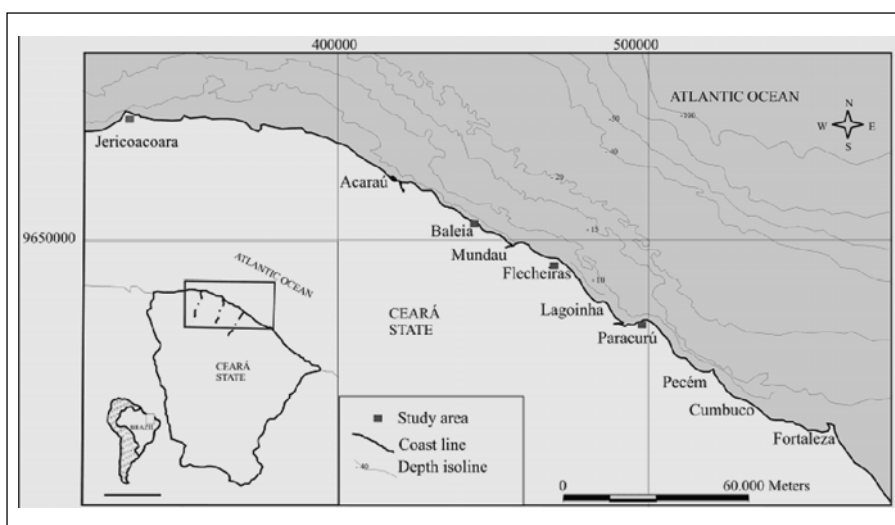


Figura 1 – Mapa de localização da região costeira entre Fortaleza e Jericoacoara.

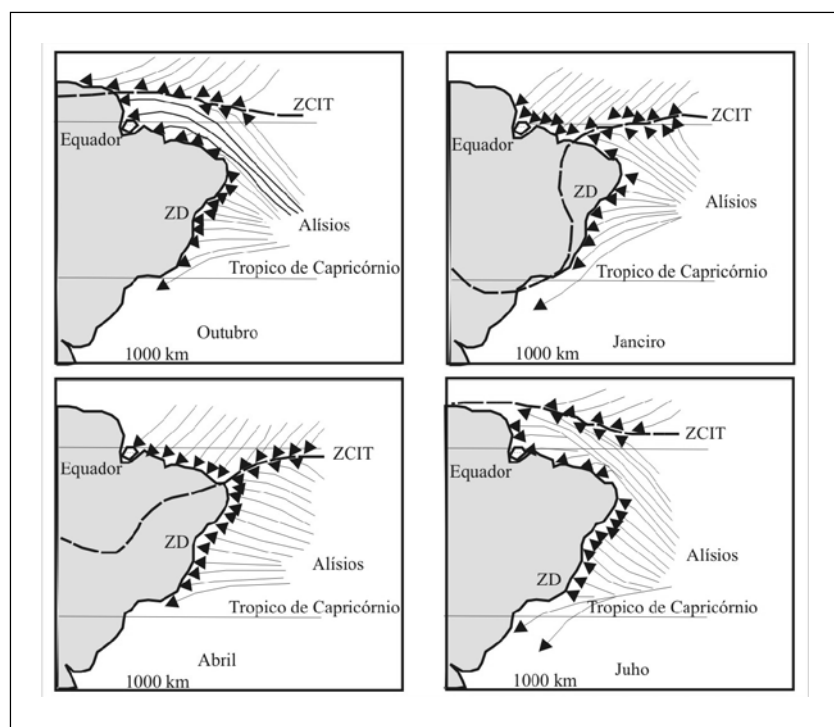


Figura 2 - Síntese da movimentação da ZCIT e da ZD (Zona de Divergência) e padrões de vento associados. Modificado de Martin et al. (1998).

região. Neste período, verifica-se a presença dos alísios de NE, que também atingem a costa com mais frequência.

De julho a novembro, a ZCIT se desloca gradativamente para o norte, afastando-se do Equador, quando as chuvas começam a diminuir até caracterizar-se o período de estiagem. Ao mesmo tempo os alísios de sudeste/este se tornam mais efetivos, aumentando significativamente sua predominância em relação aos de nordeste.

Este comportamento ou padrão climático sazonal é bastante influenciado por fenômenos do tipo “El Niño” que, ao favorecer uma posição da ZCIT mais ao norte e por um maior período de tempo, prolonga, desta forma, a vigência da estação seca.

Quanto à geologia, o litoral cearense é formado por um empilhamento estratigráfico representado por raros afloramentos de rochas metamórficas de idade Pré-Cambriana, comumente recobertas por seqüências sedimentares cenozóicas.

A cobertura sedimentar costeira é constituída por depósitos terciário-quadernários da Formação Barreiras, depósitos colúvio-eluviais e as unidades quaternárias, representadas principalmente por depósitos eólicos e praias.

Os depósitos eólicos se estendem por toda a costa, sendo formados por areias finas a médias, bem e moderadamente selecionadas, com cores que variam no intervalo de branca a avermelhada.

Estes depósitos, invariavelmente, formam dunas de portes variados, que têm sido agrupadas em distintas gerações (Carvalho & Maia, 1990; Maia, 1993; Carvalho et al., 1994; Maia, 1998; Claudino-Sales, 2002; e Carvalho, 2003, entre outros) que, em geral, comportam os diferentes tipos morfológicos. Entre esses se destacam as dunas frontais, formadas pelo transporte subparalelo a linha de costa; pequenos lençóis de areia e dunas barcanas da ordem de centenas de metros; pequenas dunas e fluxos disformes de areia sobre uma superfície de deflação, com eventual formação de pequenas dunas móveis dos tipos barcana e em forma de cordão de sapato (*string*) e de parabólicas; dunas compostas, constituídas por grandes dunas barcanas e barcanóides calvalgantes, abrangendo amplas faixas da ordem de dezenas de quilômetros quadrados; e grandes dunas parabólicas dos tipos aberto e fechado, ou na forma de grampo de cabelo (*hairpin*).

## MÉTODOS E TÉCNICAS

Para a análise do comportamento das dunas foram efetuadas medições diretas, através de levantamentos topográficos, e indiretas, por meio de imagens de satélites, para determinar as dimensões de sete dunas, distribuídas entre barcanas e barcanóides, situadas nas localidades de Flexeiras, Baleia e Paracuru (Figura 1).

Os volumes das dunas foram calculados utilizando-se os dados topográficos compostos de pontos coordenados com respectivas altitudes, gerando uma planilha do tipo X,Y,Z. Estes valores foram plotados no programa SURF 7, gerando um *grid* com o qual se efetuaram os cálculos.

Estas medidas foram comparadas às características de outras oito dunas barcanas e barcanóide, cujas dimensões e volumes foram medidos por Maia (1998) na região de Jericoacoara (Figura 1). Tal procedimento possibilitou a determinação de alguns padrões característicos para as dunas da região.

Para as relações entre as dimensões (largura, comprimento e altura) das dunas, as medidas utilizadas foram realizadas segundo o esquema da Figura 3.

A determinação das taxas de migração das dunas foi realizada a partir da medição das distâncias

entre os arcos das marcas de migração, seja em campo ou por meio de imagens de satélite, conforme demonstrado na Figura 4. A taxa anual de migração foi calculada pela média das distâncias medidas para cada ano ou arco, e os valores anuais compõem a média de migração da duna para cada ano.

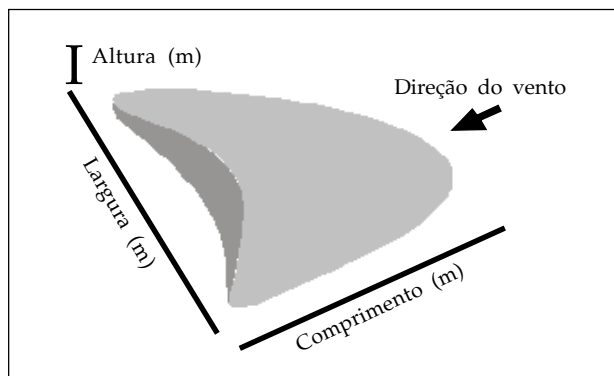


Figura 3 – Dimensões das dunas utilizadas neste trabalho. Esquema de uma barcana.

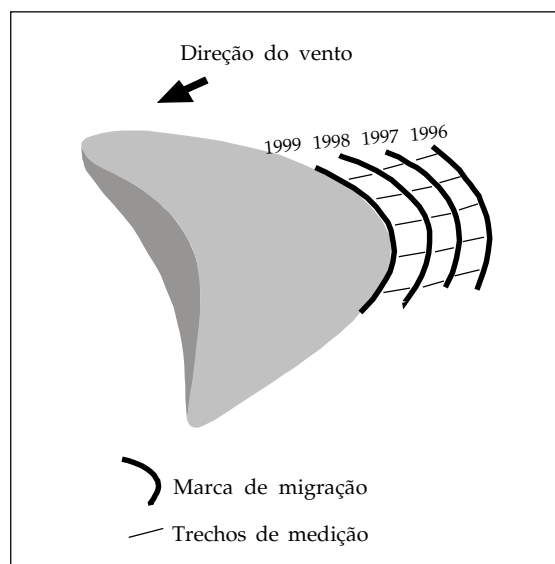


Figura 4 – Esquema das marcas de migração de dunas com respectivos pontos de medições e indicação do ano de formação de cada marca.

Estas marcas de migração de dunas (*dune-tracks*) correspondem às acumulações ou montículos de areia em forma de arco (Figura 4) fixados pela colonização destas porções pelo desenvolvimento de vegetação durante o período chuvoso. Este processo gera uma seqüência destas formas que se destacam em relação à área mais baixa desenvolvida entre as mesmas.

A origem das marcas de deslocamento de dunas na costa cearense foi atribuída por Maia (1998) ao processo de fixação de parte dos sedimentos, que compõem o início de sua face de barlavento, provocado pelo crescimento de vegetação do tipo gramínea que,

favorecida pela maior umidade durante o período de chuvas na região, ancoram os sedimentos, dificultando o seu transporte na estação seca seguinte.

Estas marcas normalmente só ocorrem de forma evidente em situações onde as dunas atravessam uma região predominantemente plana e colonizada por gramíneas, sujeita a inundações sazonais.

Pelo menos três condições, portanto, são necessárias ao desenvolvimento de marcas de deslocamento de dunas: (1) terreno relativamente plano e sujeito a inundações ou acumulações de água suficientes para manter a vegetação durante o período seco; (2) presença de vegetação do tipo gramínea; e (3) variações sazonais das condições pluviométricas.

Nas localidades de Flexeiras, Baleia e Paracuru foram tomadas medidas topográficas das dimensões de dunas barcanas e barcanóides, e correspondentes marcas de migração (Figura 5), objetivando também sua correlação com a pluviometria.

A identificação do ano de formação de cada marca foi baseada no último registro que poderia ser atribuído com segurança a um determinado período. Os demais anos foram inferidos segundo um processo de regressão no tempo, conforme mostrado na figura 4, considerando-se que cada marca corresponde a um ano de formação. Comumente as exposições destas marcas são restringidas pelo soterramento provocado por novas seqüências de dunas migrantes, aspecto que, em muitos casos, inviabiliza sua utilização como marcador de tempo.

A caracterização e classificação das formas das dunas foram baseadas em medidas topográficas, com delineamento da morfometria dos corpos, e complementadas por observações de campo e estudos de imagens de satélite e fotografias aéreas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Geometria e dimensões das dunas e suas relações com o processo de migração

As relações entre as formas e dimensões dos tipos de dunas e suas respectivas taxas de migração, apresentadas na Tabela I, demonstram melhor correlação para as dunas barcanas, contrariamente ao que ocorre para as barcanóides. Possivelmente este aspecto esteja relacionado à condição de perfil mais estável e aerodinâmica aparentemente mais simples das dunas barcanas em relação às demais. As formas de leito definidas como barcanas são amplamente citadas na literatura como as mais propícias à aplicação de medidas de deslocamento devido a essas características.

Outros tipos de dunas estudados, a exemplo das barcanóides, geralmente exibem formas assimétricas de topo irregular, com trechos chapados e/ou escavados, associados a outros abaulados, que, também, podem ser interpretados como o desenvolvimento de *mega-ripples* ou pequenas dunas cavalgantes formadas sobre uma duna maior. Conjuntos de linhas ou faixas de deflação e de deposição situadas

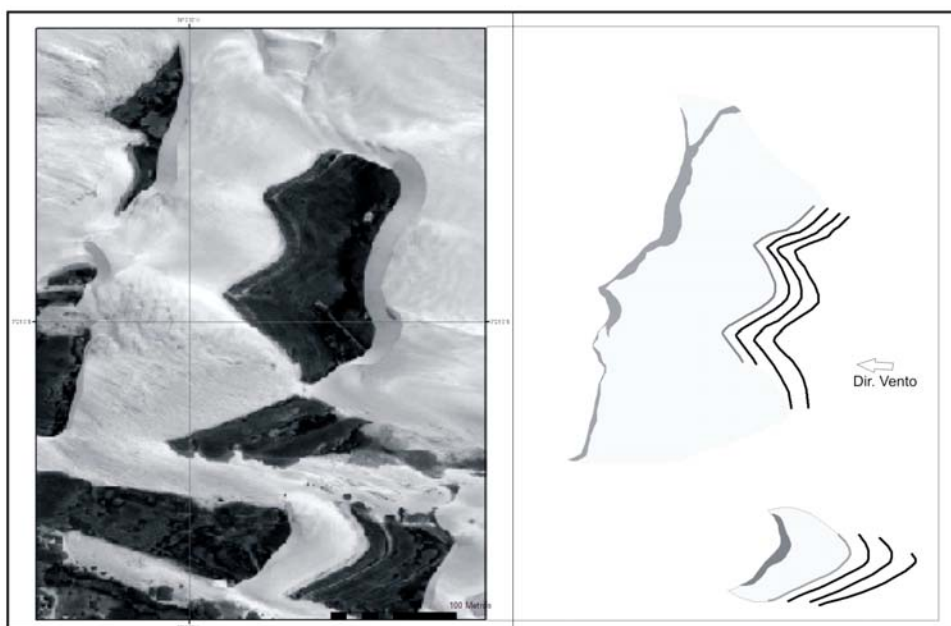


Figura 5 – Marcas de migração de duna barcanóide e barcana na região de Paracuru, a partir da interpretação de imagem de satélite. Dunas denominadas de 12 (parte inferior da imagem) e 16 (centro da imagem).

Tabela I - Relações geométricas e taxa de migração para os tipos de dunas das localidades de Jericoacoara, Baleia e Flexeiras e Paracuru, no Estado do Ceará.

Duna	Tipo	Local	Largura (m)	Altura (m)	Comp. (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Comp./ migração	Largura/ Comp.	Comp./ altura	Largura/ altura	Migração(m /ano)
1	Barcana	Jericoacoara	490	53	371	1000000	25,7	1,3	7	9	15
2	Barcana	Jericoacoara	411	46	325	850000	21,6	1,3	7	9	15
3	Barcana	Jericoacoara	355	39	295	530000	18,4	1,2	8	9	16
4	Barcana	Jericoacoara	322	36	256	380000	15,1	1,3	7	9	17
5	Barcana	Jericoacoara	271	30	215	225000	11,9	1,3	7	9	18
6	Barcana	Jericoacoara	234	26	180	145000	9,5	1,3	7	9	19
7	Barcana	Jericoacoara	196	22	156	120000	7,8	1,3	7	9	20
8	Barcana	Jericoacoara	168	18	130	80000	6,2	1,3	7	9	21
9	Barcana	Baleia	190	21	142	96428	7,5	1,3	7	9	19
10	Barcanoide	Flecheiras	185	10	148	86335	8,7	1,2	13	17	17
11	Barcanoide	Flecheiras	291	10	245	268926	15,3	1,2	24	28	16
12	Barcana	Paracuru	180	13	130	90534	4,1	1,3	10	14	32
13	Barcanoide	Baleia	221	14	167	138058	8,8	1,3	11	15	19
14	Barcanoide	Flecheiras	508	31	387	1189604	27,6	1,3	12	16	14
15	Barcanoide	Jericoacoara	343	20	259	448624	16,2	1,3	12	16	16
16	Barcanoide	Paracuru	703	17	296	323.147	18,8	2,3	17	41	23

no topo das barcanóides e transversas também são comumente observadas.

Essas dunas, em geral, são formadas pela junção lateral de barcanas, muitas vezes, associadas a outras dunas do mesmo tipo ou diferentes que ocorrem lateralmente ou nas suas extremidades, a barlavento e a sotavento.

Estas características fazem com que elas experimentem uma maior interferência no processo de migração, provocado também pela presença de vegetação e umidade, a exemplo do que ocorre nas dunas barcanóides de Flexeiras, Baleia e Paracuru, neste caso, exemplificada pela Figura 5. Estas citadas dunas podem ser consideradas como não livres e submetidas a uma extrema interferência, onde a causa da alteração de sua forma é imprecisa ou multi-causal.

A Figura 5 exemplifica o processo de aglutinação ou coalescência de seqüências de dunas barcanas gerando barcanóides de dimensões consideráveis, conforme se observa na Tabela I. Por outro lado, dunas barcanas, exemplificadas por aquelas estudadas nas localidades de Baleia e Paracuru, além de dunas de Jericoacoara, que exibem perfil mais próximo do modelo clássico de uma duna barcana, apresentam relações geométricas bastante semelhantes entre si, sendo consideradas como exemplos de formas livres, portanto, experimentam menor interferência do meio circundante.

Estas dunas barcanas são classicamente identificadas como uma forma transversal produzida por ventos unidirecionais que, segundo Bagnold (1941), quando impulsionadas por ventos fortes e em movimento sobre um terreno plano, deslocam-se sem perder sua forma e volume.

Notadamente, a manutenção destas dimensões não constitui uma equação tão simples. Goldsmith (1985) observa que a aerodinâmica e, portanto, a própria forma da duna, varia com a velocidade do vento. Este autor considerou que, sob ventos de baixa velocidade, o valor crítico da velocidade de cisalhamento necessário para remover e transportar sedimento não é alcançado, exceto próximo à crista da duna, fazendo com que haja transporte basicamente nestas imediações. Completa que, desta forma, ventos de baixa velocidade apresentam uma tendência a produzir um achatamento do topo e da crista da duna, além do alongamento do seu perfil, enquanto que em situações de ventos de alta velocidade, tende a prevalecer a retirada de materiais de barlavento em direção à face de sotavento.

Esse processo pode provocar a diminuição do comprimento da duna e aumento da sua altura. Acrescenta-se a isso o processo de ancoramento da duna provocado por obstáculos, a exemplo de vegetação, umidade e pela aglutinação de dunas barcanas, como fatores determinantes da modificação de suas dimensões, aspecto este bastante comum na região estudada.

Por outro lado, Wilson (1973) atentou para o aspecto da interferência exercida pela forma das dunas sobre o fluxo de vento, o que resulta numa contínua interação de duas mãos desenvolvida entre o fluxo e a forma, de maneira que se um sofre mudança o outro também deverá experimentá-la.

Long & Sharp (1964) consideram que, para dunas barcanas, os elementos que exercem maior influência sobre sua movimentação são o regime de ventos local, o suprimento de sedimentos, a topografia e a

presença de vegetação. Ressaltam, no entanto, que o tamanho e, especialmente, a altura da face de deslizamento constituem os fatores mais importantes nesse processo.

A definição da estabilidade da forma destas dunas envolve também o conceito de vetor resultante de transporte. Este fator é amplamente verificado em campo, ou através de imagens de satélite e fotografias aéreas, por meio das quais é possível se identificar coalescências desenvolvidas nas dunas do tipo barcana, cujo formato padrão se degenera, a partir da variação nesse vetor, resultando em formas barcanóides, o que pode, entre outros, ser influenciado também pela presença de obstáculos à frente de migração dessas dunas.

É oportuno ressaltar que dunas barcanas apresentando perfeita simetria ou próximo disso constituem uma rara exceção na natureza e, em particular, na área estudada.

Quanto ao aspecto das proporções entre as dimensões das dunas, predomina a variabilidade, mas, em geral, observa-se que a largura, em média, tem cerca de 1,3 vez o seu comprimento e que as demais relações de forma variam de acordo com as modificações desenvolvidas na morfologia das dunas. Aquelas consideradas livres ou que se deslocam sobre uma superfície plana e desprovida de grandes obstáculos, apresentaram seu comprimento medindo cerca de sete vezes a sua altura, enquanto sua largura é avaliada em torno de nove vezes sua altura.

As dunas confinadas ou sob influência de obstáculos que possam exercer influência nas condições do vento ou no deslocamento (presença de vegetação ou de zonas úmidas à frente da direção do desloca-

mento), apresentaram suas feições e dimensões mais deformadas, nas quais é comum observar-se coalescências nas cristas e braços, dissimetria nos flancos, desenvolvimento de escalonamento na face de deslizamento, entre outras deformidades. Nestes casos, o comprimento da duna chega a alcançar, em média, 13 vezes o valor da altura, e a largura é cerca de 15 vezes a sua altura em metros.

Tais diferenças nas relações entre as dimensões das dunas podem ser provocadas ou implementadas, entre outros aspectos, pela coalescência resultante da deflação no topo da duna. Entretanto, esse processo pode ser ocasionado: (1) pela simples diminuição da velocidade do vento no local de ocorrência dessas dunas; (2) pelas mudanças na direção do vetor resultante do transporte; (3) devido à presença de obstáculos à frente do seu deslocamento, fazendo com que ocorra o ancoramento da duna e a conseqüente deflação no topo ou (4) pela interação e/ou progressiva aglutinação das extremidades de dunas contíguas.

Observa-se, também, que o processo de cavalgamento de dunas, que ocorre principalmente nas porções terminais dos campos compostos, seja responsável por um elevado número de deformações ou alterações no formato das dunas.

### Relação entre taxa de migração e dimensões das dunas

Conforme os dados medidos em campo, a média geral de migração das dunas variou entre 14 e 23m/ano para as dunas barcanóides e de 15 a 32m/ano para as barcanas (Tabela I). Na região, a relação mais significativa foi registrada pela correlação potencial inversa entre altura, largura, comprimento e volume das dunas com suas taxas de migração para aquelas do tipo barcana (Fig. 6).

Significa que, em geral, a diminuição ou aumento nas dimensões das dunas provoca uma resposta contrária da taxa de migração, aspecto pouco marcante quando se trata de dunas barcanóides ou outros tipos com morfologia

Significa que, em geral, a diminuição ou aumento nas dimensões das dunas provoca uma resposta contrária da taxa de migração, aspecto pouco marcante quando se trata de dunas barcanóides ou outros tipos com morfologia

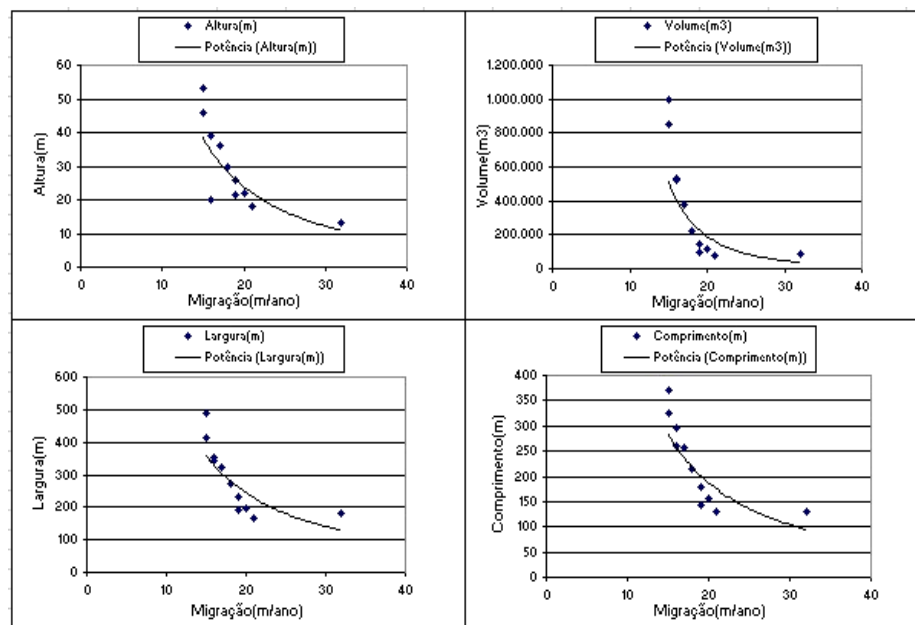


Figura 6 - Relação entre as dimensões e volume das dunas com sua taxa de migração (dunas de Jericoacoara, Baleia, Flexeiras e Paracuru).

mais irregular, caso em que se verifica haver um processo mais expressivo de interferência de fatores externos no padrão de migração. As taxas de migração são mais baixas, a exceção de uma duna classificada como barcanóide localizada em Paracuru, que parece atuar como um grupo de dunas barcanas migrando paralelamente umas as outras, justificando assim sua maior velocidade de migração (Tabela I). Ou seja, apesar de formarem um corpo único, em termos de definição de sua morfometria, essas dunas migram quase independentemente.

### Relação entre taxa de migração e pluviometria

Os dados utilizados neste estudo foram medidos nas localidades de Flexeiras, correspondendo a duas dunas barcanóides (dunas 10 e 11) e Paracuru, onde foram medidas duas dunas barcanóides (dunas 16 e d4) e duas barcanas (dunas 12 e d3). Selecionou-se para este estudo as dunas que apresentavam um registro significativo de sua migração, materializado no número de seqüências de marcas de dunas. Considerando-se que a distância entre duas marcas adjacentes de deslocamento de duna é representativa do período de um ano, foi possível relacioná-las às características climáticas nas localidades onde elas estão situadas.

Sob esta perspectiva foram realizadas medições destas feições diretas, em campo e indiretas, através de imagens de satélite. Suas taxas de migração foram

correlacionadas com os valores referentes as médias anuais de precipitação medidas pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME).

O confronto desses dois parâmetros está sintetizado nas Figuras 7 e 8, onde se ressalta uma perfeita correlação inversa entre os mesmos.

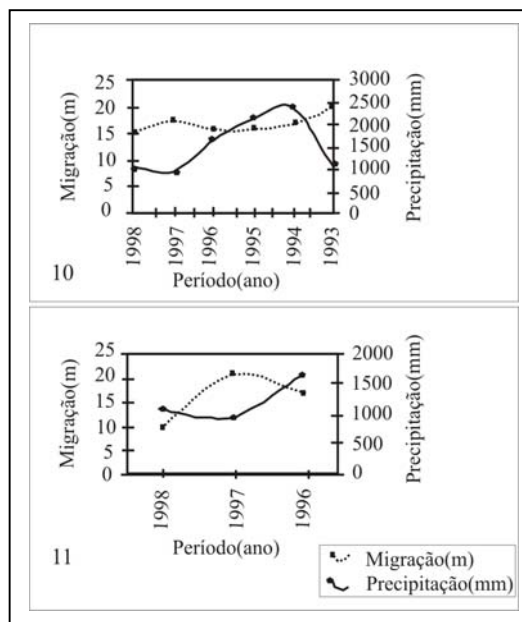


Figura 7 – Taxas de migração das dunas 10 e 11 da localidade de Flexeiras-CE e respectivas médias anuais de precipitação.

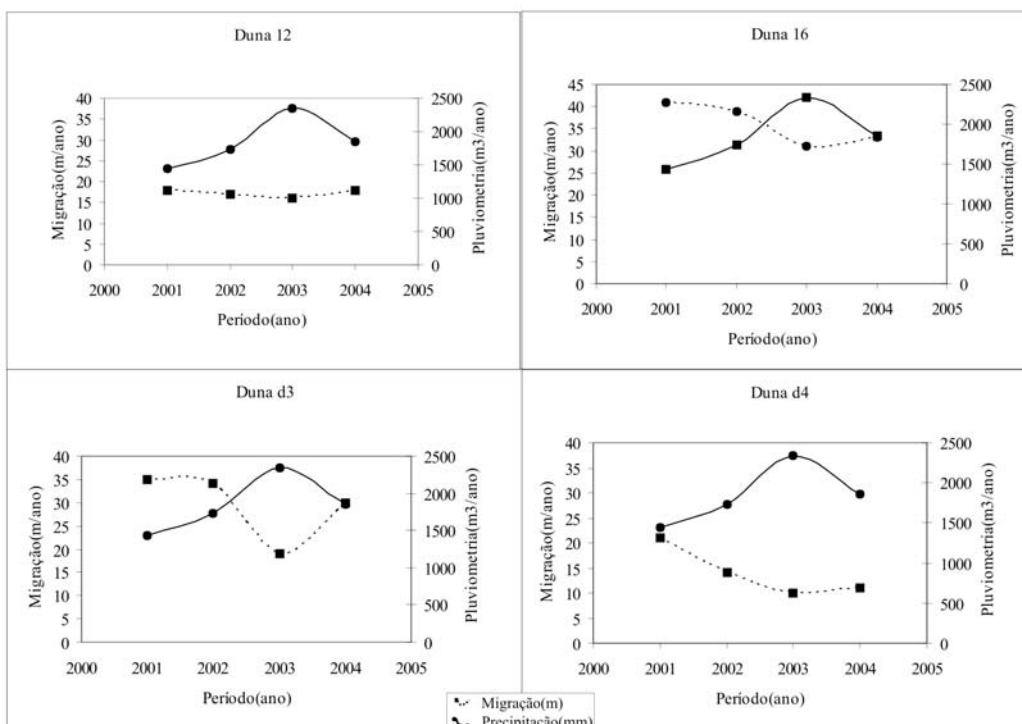


Figura 8 – Taxas de migração das dunas 16, d4, 12 e d3 em Paracuru-CE, e respectivas médias anuais de precipitação.



Verifica-se que as taxas de transporte eólico para os períodos analisados, de 1993 a 1998, para a localidade de Flexeiras e, de 2001 a 2004, para a localidade de Paracuru, exibem valores elevados, quando favorecidos pelo baixo volume de chuvas, e declinam gradualmente à medida que aumentam as taxas de precipitação.

Durante tal período, o volume de chuvas atingiu um máximo valor entre 1994 a 1995, que equivale ao período de pico, possivelmente significando a instalação de um fenômeno do tipo 'La Niña'. Do final deste intervalo até 1997, a precipitação declinou vertiginosamente, atingindo um valor mínimo neste ano, representando um possível máximo do efeito de um fenômeno do tipo 'El Niño'. Neste ano, as taxas de transporte descreveram uma retomada de crescimento a partir do início de 1996, quando atingiram um máximo, voltando a cair com a instalação de um possível novo evento do tipo 'La Niña' em 1998. Igualmente entre 2000 e 2004, para as dunas analisadas, os resultados foram coincidentes, invariavelmente repetindo-se o comportamento precisamente inverso entre as taxas de migração das dunas e a pluviometria (Figura 8).

## CONCLUSÕES

A forma das dunas obedece a uma conjunção de fatores diversos, como a interseção ou interação entre distintas dunas, variação na direção e velocidade do vento, além da presença ou ausência de obstáculos ao longo do percurso dessas formas de leito.

As taxas médias anuais de migração de dunas dependem consideravelmente das dimensões dessas formas de leito, caracterizando-se uma correlação inversa entre a taxa de migração e parâmetros como volume, comprimento, largura e altura das dunas, principalmente para as barcanas.

A constatação da existência de uma perfeita correlação inversamente proporcional entre a taxa de migração e a pluviometria demonstra o expressivo controle climático no desenvolvimento e movimentação das dunas eólicas na região. Fato este que ressalta, portanto, a importância da leitura dos fenômenos do tipo 'El Niño' e 'La Niña' para o seu desenvolvimento.

A comparação entre taxas de migração de dunas em regiões distintas ou não deve necessariamente contemplar a discriminação das características das formas de leito e do terreno, além das condições climáticas. Estes valores, portanto, devem receber importância relativa devido a sua ampla variabilidade em face dos aspectos supra citados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagnold, R.A., 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. Chapman & Hall. 265 p., London, 1941
- Carvalho, A.M. *Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões-Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos*. Tese de Doutorado, Salvador. 188 p., 2003
- CLIVAR/BRASIL. *Um programa nacional do clima*. Versão preliminar, 78 p., 1998
- Finkel, H.J. The barchans of southern Peru. *J. Geol.*, v. 67, p. 614-647, 1959
- Fortes, F., *Mapa geológico da Bacia Potiguar: a origem da Bacia Mesozóica do Apodi como decorrência do ciclo tectoro-genético brasileiro*. PETROBRAS/DEBAR/DINTER, Relatório Interno, Natal. p 44-61, 1987.
- Jiménez, A.J.; Maia, L.P.; Serra, J. & Moraes, J.O. Dune migration along the Ceará coast, northeastern Brazil. *Sedimentology*, 1998.
- Long, J.T. & Sharp, R.P. Barchan-dune movement in Imperial Valley, California. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v.75, p. 309-313, 1964
- Maia, L.P. *Procesos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia, 269 p., Barcelona, 1998.
- Martin, L.; Dominguez, J.M.L. & Bittenocurt, A.C.S.P. 1998. Climatic control of coastal erosion during a sea-level fall episode. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1998.
- Meireles, A.J.A.; Gurgel, J.B.; Gurgel, G.A.S.; Sales, L.G.; Castro, J.W.A. Geologia ambiental e impactos decorrentes da migração de dunas na planície costeira de Paracuru-CE, p. 65-66, in *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 37, São Paulo, 1992.
- Rodrigues, A.C.B. *Caracterização sedimentológica e processos eólicos costeiros da região de Caucaia, costa oeste do estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado. Recife. 115 p., 1999.
- Sauerman, G.; Andrade Jr., J.S.; Maia, L.P.; Costa, U.M.S.; Araujo, A.D. & Herrmann, H.J. Wind velocity and sand transportation on a barchan dune. *Geomorfology*, n,1325,k p.1-11, 2002
- Tomazelli, L.J. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, v.20, n.1, p.18-26, 1993.
- Wilson, I.G. Aeolian bedforms -their development and origins. *Sedimentology*, Amsterdam, v. 19, p.173-210, 1973.