

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil

Luiz Tomazelli

Pesquisas em Geociências, 20 (1): 18-26, Jan./Abr., 1993.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21278>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Jan./Abr., 1993.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

O Regime de Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil

LUIZ J. TOMAZELLI

CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15.001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 28/10/92. Aceito para publicação em 05/08/93.)

Abstract — By combining the results of analyses of meteorologic stations data, aerial photographic studies and field measurements it has been possible to know the wind regime and to establish the rates and directions of motion of eolian coastal dunes of Rio Grande do Sul. According to the definitions of Fryberger, the wind regime can be classified as high energy with an obtuse bimodal distribution. The dominant wind comes from NE and although it blows throughout the year, it is more active on spring-summer months. The secondary W-SW wind is a winter wind. As a response to the wind action, the dunes migrate landward in the direction SW. The average speed of migration, determined by aerial photographic studies, was between 10-38 m/yr. The field measurements, made over a three-years time-span, revealed an average motion of 26 m/yr. These high values reflect the great efficiency of the wind as a sand transport agent in the coastal region studied.

Resumo — Pela combinação dos resultados da análise de registros de estações meteorológicas, estudos aerofotográficos e medidas diretas no terreno, foi possível conhecer o regime de ventos e estabelecer as taxas e direções de movimento das colunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul. De acordo com as definições de Fryberger, o regime de ventos pode ser classificado como de alta energia, com um padrão de distribuição bimodal obtuso. O vento dominante provém de NE e, embora sopra ao longo de todo ano, é mais ativo nos meses de primavera-verão. O vento de W-SW, secundário, é mais eficaz nos meses de inverno. Em resposta à ação destes ventos, as dunas migram no sentido SW. A taxa média de migração, determinada em fotografias aéreas, variou de 10 a 38 m/ano. As medidas diretas no terreno, feitas durante o intervalo de tempo de 3 anos, revelaram uma migração média de 26 m/ano. Estes altos valores encontrados refletem a grande eficiência do vento como agente transportador de areia na região costeira estudada.

INTRODUÇÃO

O relevante papel do vento, como agente fisiológico, na elaboração da paisagem da Planície Costeira do Rio Grande do Sul tem sido reconhecido, ao longo dos anos, pela maioria dos pesquisadores que estudaram esta região. Juntamente com as variações relativas do nível do mar, ele é o agente responsável pelos mais significativos processos geomorfológicos que nela atuam. Além de propiciar a formação de um amplo campo de dunas, o vento responde por outros importantes processos como, por exemplo, a geração de ondas locais e correntes marinhas que afetam a deriva litorânea de sedimentos e a configuração das praias, o controle da morfologia dos corpos aquosos costeiros (lagos e lagoas), a criação de lagos rasos (lagos de deflação) e a influência na sedimentação dos corpos aquosos, seja pelo suprimento de areia eólica para dentro destes ambientes, ou então, pelo controle de seus regimes de ondas e correntes.

Dentre estas ações geomórficas se ressalta, em importância, a formação de um complexo e amplo campo de dunas arenosas que, alimentado pela areia disponível na praia adjacente, migra para o interior da região costeira. Sob o ponto de vista da compreensão do meio físico e da interação com a atividade humana nesta região litorânea, fica notória a importância de se conhecer, com a maior profundidade possível, o regime de ventos e as características do processo migratório das dunas. No presente trabalho, pretendeu-se buscar

este conhecimento, através da análise de registros obtidos em estações meteorológicas, da interpretação de fotografias aéreas e de medidas realizadas diretamente no terreno.

Outras características do sistema eólico estudado, bem como suas interrelações com os demais sistemas costeiros da região, podem ser encontrados em Tomazelli (1990).

O REGIME DE VENTOS DO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL

A origem dos ventos regionais que afetam a área de estudos relaciona-se, basicamente, com os dois sistemas de alta pressão que atuam nesta região: o Anticiclone do Atlântico Sul e o Anticiclone Migratório Polar (Nimer, 1977). Buscando aprofundar o conhecimento deste regime de ventos, analisou-se os dados registrados em três estações meteorológicas situadas nas cidades litorâneas de Torres, Imbé e Rio Grande (Fig. 1). As estações de Torres e Rio Grande pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a estação de Imbé, ao Departamento Estadual de Portos, Rios e Canais (DEPRC). Todas as três estações foram construídas e operam segundo as normas meteorológicas internacionais. De acordo com estas normas, as leituras de velocidade dos ventos são realizadas a uma altura padronizada de 10 m do solo.

A partir dos registros disponíveis, optou-se por

trabalhar com uma série de dados de 13 anos: de janeiro de 1970 a dezembro de 1982. Foram analisados os dados de velocidade (m/s) e direção de proveniência (8 setores direcionais) dos ventos superficiais.

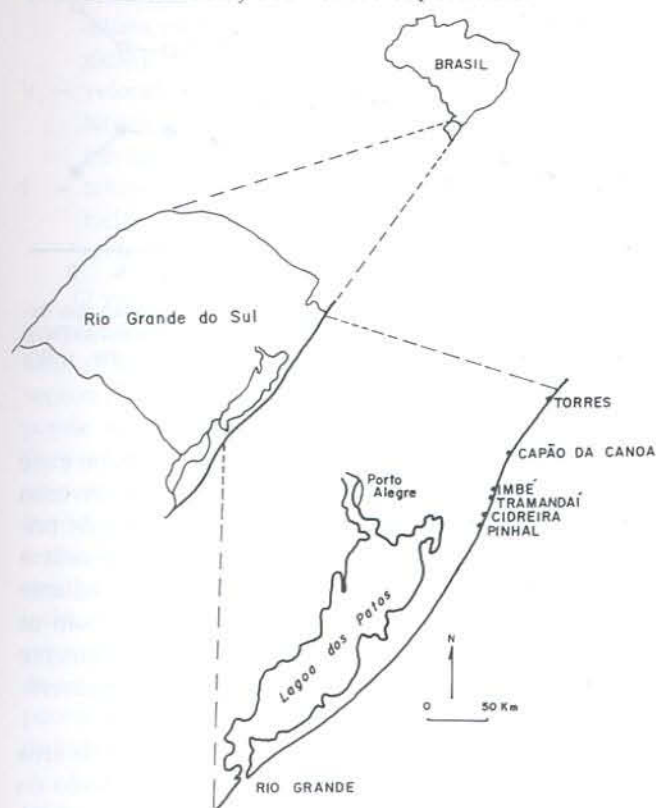


Figura 1 — Localização da área de estudo: o Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

A Tabela 1 resume os dados de frequência percentual (direção e velocidade) dos ventos superficiais registrados nas três estações meteorológicas durante o período de observação. Os valores de velocidade foram agrupados em 5 classes utilizadas, posteriormente, no cálculo do potencial de transporte de areia pelo vento. Para uma melhor visualização, os dados referentes à frequência total para cada direção foram representados sob a forma de diagrama de rosa (Fig. 2).

A análise dos dados mostra claramente que, nas três estações meteorológicas, o vento mais frequente provém de NE.

Embora exista uma boa consistência no registro de ventos das três estações, é possível de se observar algumas diferenças significativas que podem ser atribuídas não somente à separação geográfica entre as estações mas também a efeitos topográficos locais. Por exemplo, os ventos de W são raros em Torres (4,3%) enquanto em Imbé são bem mais comuns (17,3%). Por outro lado, os ventos de NW são bem mais comuns em Torres (5,3%) do que em Imbé (1,4%). Estes valores refletem claramente a posição das estações com relação ao Planalto da Serra Geral e, conseqüentemente, com a influência que a sua imponente topografia exerce no padrão de circulação dos ventos.

A maior variabilidade direcional dos ventos registrados na estação de Rio Grande provavelmente retrata, por um lado, a sua posição bem mais meridional em relação às outras estações e, por outro, sua situação em território plano, aberto, longe de qualquer efeito relacionado com a topografia.

Estação	Direção	Intervalos de Velocidade (m/s)					%	V média	Total de Observ.
		1 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14			
TORRES	N	4.5	0.4	0.1	0.0	0.0	5.0	2.6	14036
	NE	11.4	7.9	4.0	0.7	0.1	24.1	4.9	
	E	6.3	3.7	1.2	0.1	0.1	11.4	4.2	
	SE	5.0	2.1	0.5	0.1	0.0	7.7	3.8	
	S	5.3	4.2	2.2	0.4	0.1	12.2	5.2	
	SW	4.6	3.1	1.6	0.2	0.1	9.5	5.1	
	W	3.0	0.7	0.4	0.1	0.1	4.3	3.7	
	NW	4.8	0.4	0.1	0.0	0.0	5.3	2.7	
	Calma	—	—	—	—	—	18.5	0.0	
IMBÉ	N	2.4	0.2	0.1	0.0	0.0	2.6	2.7	14116
	NE	16.3	13.5	10.0	0.7	0.8	41.4	5.7	
	E	4.2	3.6	2.4	0.1	0.1	10.5	5.5	
	SE	4.5	2.2	0.6	0.1	0.0	7.4	4.3	
	S	3.8	2.5	0.6	0.1	0.0	7.0	4.4	
	SW	3.4	2.6	1.4	0.1	0.1	7.6	5.3	
	W	7.9	5.2	3.3	0.4	0.5	17.3	5.5	
	NW	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.4	2.9	
	Calma	—	—	—	—	—	4.9	0.0	
RIO GRANDE	N	9.1	3.0	0.6	0.1	0.1	12.9	3.0	13628
	NE	15.3	5.8	1.0	0.1	0.1	22.3	3.7	
	E	9.7	2.3	0.2	0.0	0.0	12.3	3.1	
	SE	8.6	2.3	0.3	0.1	0.0	11.4	3.3	
	S	6.4	3.2	0.7	0.2	0.1	10.5	4.2	
	SW	9.5	3.1	0.7	0.1	0.1	13.5	3.8	
	W	3.7	1.2	0.2	0.0	0.0	5.1	3.5	
	NW	3.2	0.4	0.1	0.0	0.0	3.7	2.6	
	Calma	—	—	—	—	—	8.4	0.0	

Tabela 1 — Frequência percentual dos ventos (direção e velocidade) registrados nas estações meteorológicas de Torres, Imbé e Rio Grande no período de 1970 a 1982.

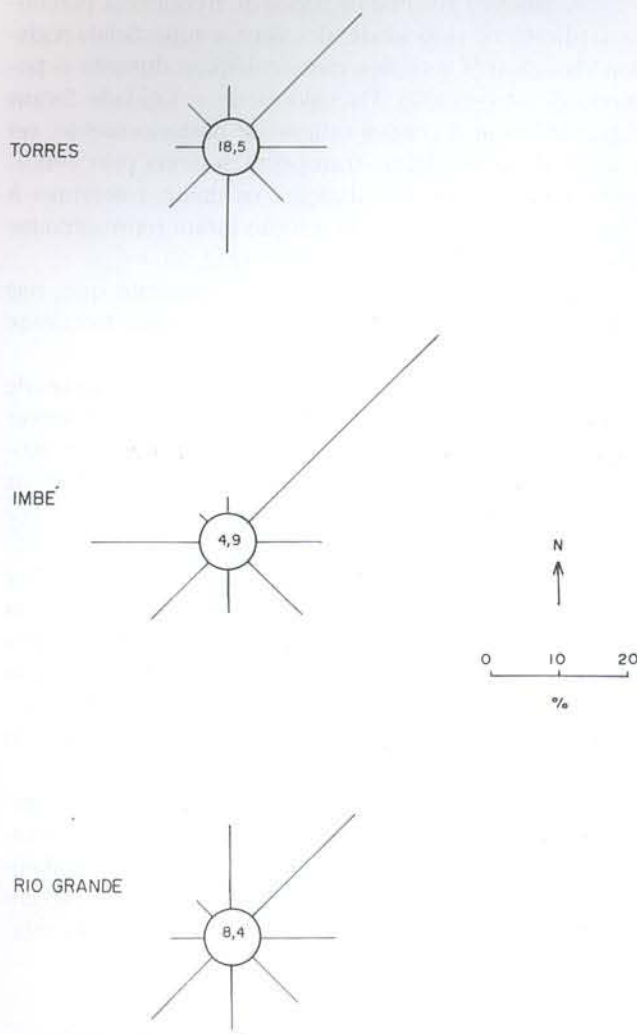


Figura 2 — Diagrama das freqüências percentuais das direções de proveniência dos ventos nas estações meteorológicas de Torres, Imbé e Rio Grande. Os números centrais representam percentuais de calmaria. Período de observação: 1970-1982.

A estação de Imbé foi selecionada para um estudo mais aprofundado quanto ao regime de ventos. A Tabela 2 apresenta as freqüências direcionais dos ventos registrados nesta estação ao longo dos meses do ano. A tabela mostra claramente que embora o vento NE seja o mais freqüente em todos os meses do ano — com exceção do mês de junho — existem, no entanto, importantes variações sazonais. Estas variações ficam bastante evidentes quando se observa o gráfico da Figura 3 no qual se considerou a soma dos ventos favoráveis à migração normal das dunas (ventos de N, NE e E) contra a soma dos ventos opostos a esta migração (ventos de S, SW e W).

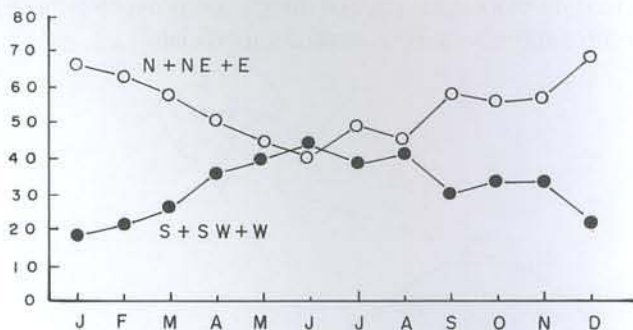


Figura 3 — Curvas representativas das variações mensais das freqüências dos ventos favoráveis à migração normal das dunas (N + NE + E) e dos ventos opostos a esta migração (S + SW + W). Dados da estação de Imbé. Período: 1970-1982.

O gráfico mostra que as curvas se aproximam e até mesmo se interceptam nos meses de outono-inverno enquanto se afastam sensivelmente nos meses de primavera-verão. Embora não tenha sido considerada a velocidade dos ventos — o que será feito mais adiante — estes dados estão totalmente consistentes com as medidas da taxa de migração das dunas que igualmente mostraram valores máximos nos meses de primavera-verão e mínimos nos meses de outono-inverno.

Estes dados referentes ao regime de ventos da área de estudo serão considerados a seguir, no cálculo do potencial de transporte de areia pelo vento.

O POTENCIAL DE DERIVA DE AREIA PELO VENTO

Metodologia de Determinação

Ao se considerar a quantidade de areia que o vento potencialmente pode transportar em uma determinada direção, deve-se avaliar, basicamente, o tempo em que o vento soprou segundo esta direção (freqüência), bem como a velocidade desenvolvida. Estes parâmetros se encontram resumidos nas fórmulas apresentadas por diversos autores (veja-se uma síntese do assunto em Sarre, 1988).

Fryberger (1979), ao desenvolver um método para o cálculo do potencial de transporte de areia pelo vento, optou por uma equação que, transformada e simplificada, pode ser expressa da seguinte forma:

$$Q \propto V^2 (V - V_c) \cdot t$$

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
N	2.2	1.4	3.0	4.4	6.0	4.0	4.5	2.4	1.4	0.5	1.0	0.7	2.6
NE	50.9	48.7	40.7	36.8	30.7	29.1	38.5	35.1	46.6	42.2	44.3	53.2	41.4
E	12.9	12.8	14.3	9.0	7.5	7.0	6.1	7.9	10.1	12.7	11.4	14.4	10.5
SE	9.8	9.6	11.1	7.9	5.7	3.6	2.5	5.7	6.1	7.4	9.6	9.0	7.3
S	7.6	7.2	8.9	6.9	4.5	3.7	4.5	7.0	5.5	8.9	10.8	8.5	7.0
SW	4.5	5.3	6.2	6.3	7.0	7.3	7.6	10.5	9.9	10.7	9.6	5.3	7.5
W	6.4	9.2	11.0	22.2	28.1	32.7	26.1	23.1	14.5	13.5	12.7	7.8	17.3
NW	1.6	1.5	0.8	1.0	2.9	3.4	1.1	1.2	1.0	0.9	0.6	1.0	1.4
Calma	4.1	4.3	3.9	5.3	7.6	9.3	9.0	7.0	4.9	3.4	0.0	0.0	4.9

Tabela 2 — Freqüência percentual, ao longo dos meses do ano, dos ventos superficiais na estação de Imbé. Período de observação: 1970-1982.

TORRES													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	DP anual
N	.4	.1	1.0	1.0	.2	.4	.7	.7	.8	2.3	.2	.1	7.9
NE	36.1	22.1	14.5	14.8	6.3	5.6	6.2	17.5	43.3	48.2	62.7	37.9	315.2
E	7.6	7.5	7.6	7.6	1.7	1.6	1.2	3.0	10.8	13.6	12.0	14.8	89.0
SE	6.3	4.1	8.2	4.3	2.8	1.1	.7	1.0	.8	2.7	8.2	7.1	47.3
S	8.2	8.9	8.9	5.6	9.2	12.2	11.9	19.2	24.4	24.8	19.2	19.3	171.8
SW	3.6	9.3	9.8	8.3	4.5	11.7	19.8	12.3	12.5	10.6	11.4	8.0	121.8
W	.1	.5	1.0	2.8	2.8	4.1	9.5	10.2	2.9	5.2	2.0	1.3	42.4
NW	.1	.4	.6	.1	.1	.6	.5	1.5	1.0	0.0	.1	.1	5.1
Total	62.4	52.9	51.6	44.5	27.6	37.3	50.5	65.4	96.5	107.4	115.8	88.6	800.5

IMBÉ													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	DP anual
N	0.0	.3	2.2	0.0	.3	.1	1.0	.1	.1	0.0	0.0	0.0	4.1
NE	58.5	59.0	45.8	38.3	13.8	19.7	28.2	48.8	123.9	111.9	124.4	89.3	761.6
E	10.7	15.8	19.4	5.2	6.3	4.5	3.3	7.3	19.4	19.9	17.0	24.2	153.0
SE	6.0	3.7	6.2	3.0	4.4	1.3	.1	1.0	3.7	4.3	6.1	3.9	43.7
S	4.0	5.0	6.1	2.8	1.2	3.2	.5	1.2	2.7	6.1	9.4	5.0	47.2
SW	7.9	5.9	3.7	4.3	6.4	7.7	8.9	7.9	15.9	9.8	20.5	7.9	106.8
W	5.9	5.2	6.4	20.6	39.1	42.8	43.1	45.8	36.0	28.3	26.5	18.1	317.8
NW	.3	0.0	.1	.1	.1	.1	.1	0.0	.3	.3	0.0	6.1	7.5
Total	93.3	94.9	89.9	74.3	71.6	79.4	85.2	112.1	202.0	180.6	203.9	154.5	1441.7

RIO GRANDE													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	DP anual
N	6.2	3.8	1.4	9.0	2.3	7.4	3.8	4.1	9.3	9.8	4.1	7.3	68.5
NE	7.4	5.0	4.7	5.2	4.6	3.1	5.2	2.9	21.8	22.0	9.1	6.6	97.6
E	2.8	1.8	1.8	.8	.1	.2	.5	3.0	6.3	3.5	1.7	6.8	29.3
SE	5.6	1.9	4.4	1.8	2.8	1.0	.2	.4	11.9	2.8	6.4	4.0	43.2
S	4.6	2.8	2.2	1.6	3.4	4.7	8.5	5.7	12.6	14.8	9.2	8.2	78.3
SW	2.1	1.8	2.5	3.6	6.5	8.6	3.8	10.0	6.0	6.5	8.9	4.0	64.3
W	.1	.3	.2	1.7	6.4	9.7	1.4	.8	.2	.6	.8	.1	22.3
NW	1.5	.9	.1	.4	.1	.7	.1	.4	.1	.9	.3	.1	5.6
Total	30.3	18.3	17.3	24.1	26.2	35.4	23.5	27.3	68.2	60.9	40.5	37.1	409.1

Tabela 3 — Potencial de deriva mensal e anual nas estações de Torres, Imbé e Rio Grande. Período: 1970-1982.

Grande do Sul na sua potencialidade como agente de transporte de areia.

A Tabela 3 resume os dados de potencial de deriva mensal e anual das estações de Torres, Imbé e Rio Grande para os 8 setores direcionais, relativos ao período de observação de 1970 a 1982. A Figura 5 representa graficamente, sob a forma de "rosa de areia", os dados correspondentes ao potencial de deriva anual destas estações.

A análise dos dados e dos gráficos mostra que a direção de deriva resultante (RDD) nas três estações estudadas aponta para SW, concordando plenamente com a configuração morfológica e a migração geral do campo de dunas.

De acordo com a classificação de Fryberger (1979), o regime de ventos da costa do Rio Grande do Sul, conforme retratado nos dados destas três estações meteorológicas, caracteriza-se como um regime de alta energia ($DP > 400$ UV). Quanto à variabilidade direcional, os baixos valores nas razões RDP/DP refletem principalmente o caráter bimodal obtuso na distribuição, devido à ação de ventos praticamente opostos.

Ao se comparar a variação do potencial de deriva nas três estações ao longo dos meses do ano (Fig. 6), nota-se que as curvas possuem uma configuração semelhante, embora se diferenciem significativamente nos valores absolutos. Em todos os meses do ano o potencial de deriva é maior em Imbé, intermediário em Tor-

res e menor em Rio Grande. Nas três estações observa-se uma significativa variação sazonal na potencialidade do transporte de areia: os meses de primavera-verão apresentam um potencial de deriva sensivelmente su-

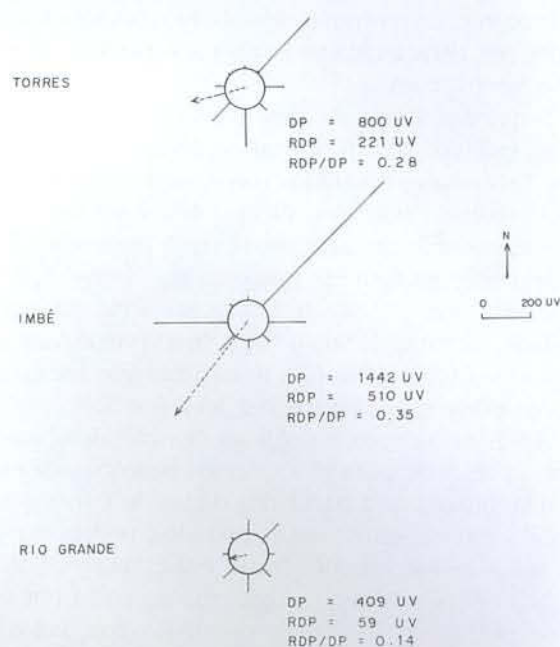


Figura 5 — "Rosas de areia" representativas dos dados de potencial de deriva anual nas estações de Torres, Imbé e Rio Grande. Período: 1970-1982.

perior ao meses de outono-inverno. Estas constatações são totalmente concordantes com as observações e medidas de campo sobre a taxa de migração das dunas, como se verá mais adiante.

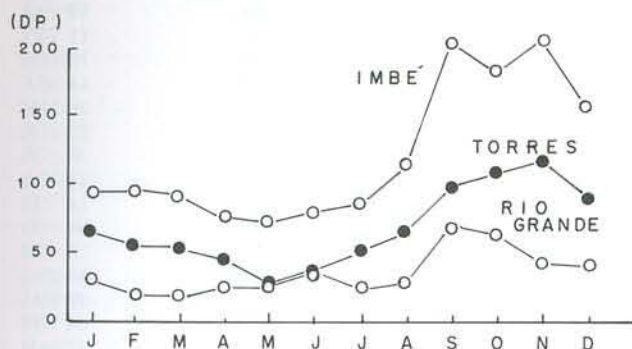


Figura 6 — Curvas representativas das variações mensais nos potenciais de deriva (DP) nas estações de Torres, Imbé e Rio Grande. Período: 1970-1982.

A estação de Rio Grande, além de possuir os valores mais baixos de potencial de deriva é, também, a que apresenta a maior variabilidade direcional. Seu índice de variabilidade muito baixo ($RDP/DP = 0,14$) reflete um regime de ventos complexo sob o ponto de vista direcional. Este comportamento, como já foi comentado quando se analisou a frequência dos ventos, pode resultar de sua situação geográfica, em relação aos centros ativos de geração dos ventos, como também de sua posição em terreno essencialmente plano, longe de qualquer feição topográfica que pudesse interferir na direção e velocidade dos ventos.

A Figura 7 apresenta as "rosas de areia" mensais, sazonais e anual correspondentes aos dados da estação de Imbé. Os gráficos mensais mostram claramente a importante modificação no regime de ventos que afeta esta região costeira ao longo do ano. Nos meses de outono-inverno (de abril a agosto) há uma sensível diminuição no potencial de deriva e uma significativa mudança na direção de deriva resultante que, em função da predominância, durante estes meses, de ventos provenientes de W e SW, praticamente inverte sua orientação. Como consequência, durante este período do ano, as dunas mantêm-se praticamente estacionárias, ou até mesmo sofrem um pequeno recuo em relação ao sentido normal de migração. A partir do mês de setembro, durante os meses de primavera-verão, as "rosas de areia" mostram configurações praticamente idênticas: há um grande aumento no potencial de deriva e a direção de deriva resultante retorna à posição normal. Esta importante modificação sazonal no regime de ventos da estação de Imbé se torna ainda mais clara quando se observam as "rosas de areia" sazonais da Figura 7.

A TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS EÓLICAS

Apesar da evidente constatação da enorme importância representada pelo movimento das dunas eólicas migratórias no sistema costeiro do Rio Grande do Sul,

nenhum estudioso se ocupou, até o momento, em procurar quantificar este movimento. Visando suprir em parte esta lacuna buscou-se, neste trabalho, determinar, pela primeira vez, as taxas de migração das dunas eólicas da área de estudo, através do emprego de dois métodos: (1) a determinação com base na análise de fotografias aéreas de diversas datas de voo e (2) o monitoramento direto no campo, a partir da fixação de marcos de controle.

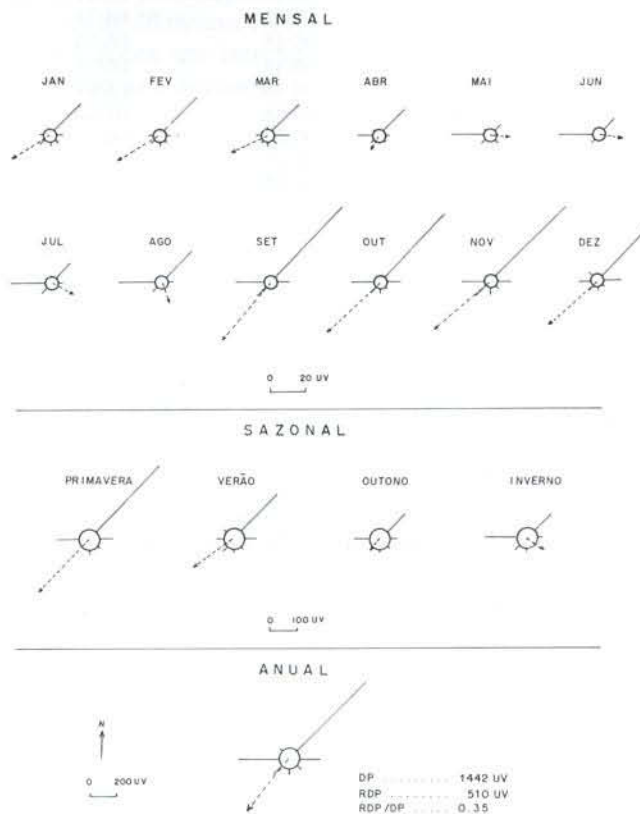


Figura 7 — "Rosas de areia" mensais, sazonais e anual correspondentes à estação de Imbé. Valores em unidades vetoriais (UV). Período: 1970-1982.

Determinações em Fotografias Aéreas Verticais

As fotografias aéreas verticais de diferentes datas de voo de uma mesma região costeira são, reconhecidamente, uma das ferramentas mais úteis para a análise da evolução das feições morfológicas litorâneas, tendo sido empregadas, com amplo sucesso, no acompanhamento da migração de dunas eólicas (veja-se, por exemplo, Finkel, 1959; McKee e Douglas, 1971).

Visando este objetivo, analisou-se as fotografias aéreas disponíveis para a área de estudo, selecionando-se feições eólicas cujo reconhecimento pudesse ser acompanhado com segurança através de fotos de diferentes datas. Para diminuir os erros de determinação, procurou-se trabalhar com fotos de escalas iguais ou aproximadas escolhendo-se, preferencialmente, feições posicionadas próximo ao centro das fotografias. As medidas de distância foram sempre realizadas com relação a pontos fixos no terreno (casas, estradas, árvores) visíveis em toda sequência de fotos e que serviram como referencial.

De acordo com os critérios acima estabelecidos, foram escolhidas para análise 15 feições eólicas cujo movimento migratório se encontra resumido na Tabela 4.

Feição (nº)	Tipo	Período coberto			Movimento Total (m)	Sentido (Az)	Taxa média (m/ano)
		de (mês/ano)	a (mês/ano)	total (anos)			
1	T	05/67	06/74	7	86	250	12
2	CB	05/67	06/74	7	80	222	11
3	T	05/67	06/74	7	70	250	10
4	DEM	05/67	06/74	7	100	220	14
5	DEM	05/67	06/74	7	140	215	20
6	DEM	05/67	06/74	7	160	218	23
7	DEM	06/48	05/75	27	800	230	30
8	DEM	06/48	05/75	27	750	225	28
9	B	06/48	05/67	19	265	220	14
10	DEM	06/48	01/65	16,5	627	220	38
11	CB	05/67	06/74	7	85	215	12
12	CB	05/67	06/74	7	104	218	15
13	CB	05/67	06/74	7	83	220	12
14	CB	05/67	06/74	7	169	225	24
15	CB	05/67	06/74	7	227	220	32

Tabela 4 — Determinação da taxa de migração das feições eólicas a partir da análise de fotografias aéreas verticais. Tipo de duna: T - duna transversal, CB - cadeia barcanóide, DEM - depósito eólico mantiforme, B - duna barcana.

Como mostram os dados da tabela, as taxas médias anuais de movimento, mesmo quando se considera um mesmo tipo de feição eólica, variaram consideravelmente no intervalo de tempo coberto pelas fotografias. Além das variações na energia do vento disponível, este comportamento reflete, provavelmente, a influência de outros fatores como a altura das dunas, a morfologia geral, a orientação da crista, a quantidade de vegetação, a disponibilidade de areia, etc. De qualquer modo, os valores médios encontrados — variáveis entre 10 e 38 m/ano — podem ser considerados bastante elevados quando comparados com os dados de outros locais, publicados na literatura, o que revela a grande eficiência do vento no transporte de areia na costa do Rio Grande do Sul.

A Tabela 4 mostra ainda que o sentido geral de deslocamento das feições eólicas é para SW, em torno do azimute 220°. Como se viu, este é, aproximadamente, o azimute correspondente à direção de deriva resultante (RDD) calculada a partir dos dados de ventos registrados na estação meteorológica de Imbé. Assim, os dados obtidos da análise das fotografias aéreas confirmam os cálculos feitos a partir dos registros de ventos.

Determinações Diretas no Terreno

Buscando estabelecer com maior precisão a taxa de migração média das dunas eólicas da área de estudo, bem como acompanhar as prováveis variações mensais e sazonais nesta migração, selecionou-se para monitoramento uma duna barcanóide situada próximo ao balneário de Pinhal. Foi escolhida uma duna situada a sotavento de um amplo campo de dunas livres, afastada de qualquer tipo de obstáculo ou feição estranha que pudesse influenciar os processos naturais de alimentação de areia e ação do vento sobre a duna em observação.

Quando se iniciou as medidas de campo, a duna escolhida para controle apresentava os seguintes parâmetros médios mais significativos:

Tipo: segmento de cadeia barcanóide

Distância à praia: 2.200 m

Orientação média da crista: S 40° E

Sentido de migração: SW (Az = 230°)

Largura média: 85 m

Altura média: 8 m

Mergulho da face de deslizamento: 30°

Estes parâmetros da duna sofreram pequenas modificações ao longo do período coberto pelo monitoramento (3 anos) embora o sentido geral de migração (em torno do Az = 230°) tenha se mantido aproximadamente o mesmo.

Para a realização do monitoramento foi fixada uma série de marcos de madeira segundo uma linha orientada perpendicularmente à crista da duna, ou seja, disposta segundo a direção dominante de migração. O fato de que a duna não apresentou importantes variações na direção de migração possibilitou a utilização deste arranjo linear para os marcos de controle. À medida que a duna avançava e recobria os marcos mais próximos, novos marcos eram colocados no prolongamento da linha.

O monitoramento envolveu um período de tempo de 3 anos: de setembro de 1986 a setembro de 1989. Sempre que possível, procurou-se tomar as medidas em intervalos mensais para que se pudesse detectar possíveis variações mensais e/ou sazonais na migração. Os dados deste monitoramento se encontram resumidos na Tabela 5 e nos gráficos da Figura 8.

A análise da Tabela e dos gráficos revela claramente a importante variação que afeta a migração das dunas eólicas na área de estudo, concordando plenamente com os cálculos de potencial de deriva de areia realizados a partir dos dados de ventos da estação de Imbé. Durante os meses de outono-inverno (março a agosto) a duna avançou muito pouco, mantendo-se praticamente estabilizada. Em um mês pelo menos — maio de 1988 — foi registrada, inclusive, uma migração reversa. Este comportamento, como se viu, reflete a influência maior, durante estes meses, dos ventos provenientes de SW e W, contrários ao deslocamento normal das dunas. De setembro em diante, em função do amplo predomínio dos ventos de NE e E, a duna alcançou

Mês	Distância migrada (m)	Distância acumulada (m)
SET/86	2.85	2.85
OUT	3.46	6.31
NOV	4.22	10.53
DEZ	3.81	14.34
JAN/87	3.96	18.30
FEV	0.51	18.81
MAR	1.00	19.81
ABR	1.00	20.81
MAI	0.61	21.42
JUN	0.54	21.96
JUL	2.52	24.48
AGO	2.75	27.23
SET	2.74	29.97
OUT	2.56	32.53
NOV	3.75	36.28
DEZ	4.06	40.34
JAN/88	5.65	45.99
FEV	0.39	46.38
MAR	1.36	47.74
ABR	1.32	49.06
MAI	-0.50	48.56
JUN	0.98	49.54
JUL	1.60	51.14
AGO	2.55	53.69
SET	2.97	56.66
OUT	4.36	61.02
NOV	4.70	65.72
DEZ	3.56	69.28
JAN/89	2.28	71.56
FEV	0.63	72.19
MAR	0.71	72.90
ABR	0.68	73.58
MAI	0.16	73.74
JUN	0.65	74.39
JUL	1.05	75.44
AGO	1.25	76.69
SET	2.50	79.19

Tabela 5 — Monitoramento da migração de duna do tipo barcanóide próximo ao balneário de Pinhal, no período de SET/86 a SET/89. Distância total migrada segundo o Azimute de 230°.

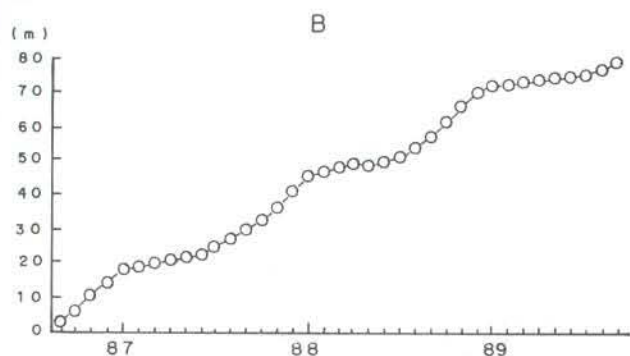
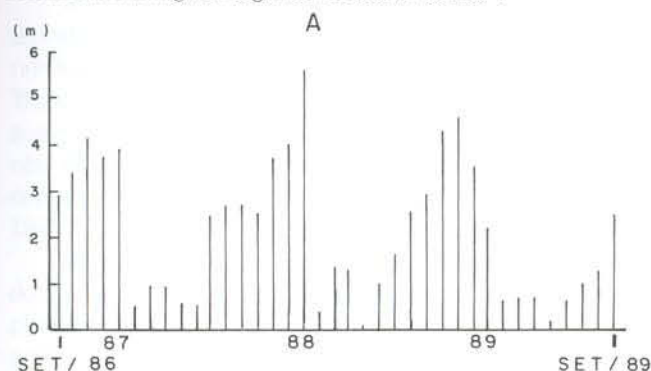


Figura 8 — Gráficos representativos da migração de duna barcanóide, próxima a Pinhal, no período de SET/86 a SET/89. (A) migração mensal, (B) migração acumulada no período. Observe-se, em ambos os gráficos, a importante variação sazonal na taxa de migração.

suas mais altas taxas de migração. O mês de novembro, em especial, apresentou as taxas médias mensais mais elevadas, considerando-se os 3 anos de monitoramento: 4,22 m/mês. A taxa de migração mensal mais elevada foi registrada durante o mês de janeiro de 1988: 5,65 m/mês.

Durante o período de monitoramento a duna avançou uma distância total de 79,19 metros na direção SW (Az = 230°) correspondendo a uma taxa média anual de cerca de 26 m/ano. Neste deslocamento a duna avançou por sobre um terreno vegetado recoberto por várias casas, cercas e árvores.

CONCLUSÕES

- (1) O regime de ventos da costa do Rio Grande do Sul é controlado, basicamente, por dois centros de alta pressão: O Anticiclone do Atlântico Sul — mais ativo durante os meses de verão e o Anticiclone Móvel Polar — mais influente durante os meses de inverno. O regime pode ser classificado como de alta energia (DP 400 UV). Os baixos valores no índice de variabilidade direcional (RDP/DP) refletem um padrão bimodal obtuso. A direção de deriva resultante (RDD) aponta para SW (Az = 220°), como reflexo do amplo predomínio de incidência dos ventos de NE e E, provenientes da borda do Anticiclone do Atlântico Sul.
- (2) A análise dos dados de potencial de deriva ao longo dos meses do ano revela uma marcante variação sazonal, reflexo das importantes modificações no regime de ventos que afetam esta região costeira em função da variação na importância relativa dos dois centros de alta pressão que nela atuam. Nos meses de outono-inverno (de abril a agosto) há uma sensível diminuição no potencial de deriva (valor médio do DP no mês de maio: 71.6 UV) e uma significativa mudança na direção de deriva resultante que em função da predominância de ventos provenientes de W e SW, praticamente inverte sua orientação. Nos meses de primavera-verão há um grande aumento no potencial de deriva (valor médio do mês de novembro: 203.9 UV) e a direção de deriva resultante retorna à sua orientação normal, voltada para SW.
- (3) Impulsionadas pelos ventos dominantes de NE, as dunas eólicas livres migram em sentido SW. Esta investigação permitiu que, pela primeira vez, se determinasse as taxas médias desta migração, através do emprego de dois métodos: (a) determinação em fotografias aéreas de diferentes datas de voo e (b) monitoramento direto no terreno. Pelos resultados obtidos pode-se concluir que ambas as metodologias mostraram-se eficientes nesta determinação.
- (4) As determinações em fotografias aéreas, envolvendo períodos de tempo de até 27 anos, e feitas em diferentes tipos morfológicos de feições eólicas, revelaram taxas médias anuais variáveis entre 10 e 38 m/ano.
- (5) O monitoramento direto no terreno, feito em uma

duna barcanóide com uma altura média de 8 m, durante o intervalo de tempo de 3 anos, mostrou que a mesma migrou numa taxa média de cerca de 26 m/ano no sentido SW ($Az = 230^\circ$). O monitoramento revelou uma importante variação sazonal que afeta a taxa de migração das dunas, concordando plenamente com os cálculos de potencial de deriva de areia feitos a partir dos dados da estação meteorológica de Imbé. Durante os meses de outono-inverno (março a agosto) a duna monitorada avançou muito pouco, mantendo-se praticamente estabilizada ou até mesmo apresentando uma pequena migração no sentido inverso. De setembro em diante foram alcançadas as mais elevadas taxas de migração, com o mês de novembro apresentando as taxas médias mais altas (4,22 m/mês).

Agradecimentos — O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo suporte financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagnold, R. A. 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen, Londres. 265 p.
- Finkel, H. J. 1959. The barchans of Southern Peru. *Journal of Geology*, 67: 614-647.
- Fryberger, S. G. 1979. Dune Forms and Wind Regime. In: Mc Kee, E. D. (ed.) *A Study of Global Sand Seas*. Washington, D. C., U. S. Geological Survey, p. 137-169. (Geological Survey Professional Paper, n. 1052).
- Mc Kee, E. D. & Douglas, J. R. 1971. Growth and Movement of Dunes at White Sands National Monument, New Mexico. In: *Geological Survey Research 1971*. Washington, D. C., U. S. Geological Survey. p. D108-D114. (Geological Survey Professional Paper, n. 750-D).
- Nimer, E. 1977. Clima. In: *IBGE - Geografia do Brasil, Região Sul*. SERGRAF-IBGE, Rio de Janeiro, p. 35-79.
- Sarre, R. D. 1988. Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England. *Sedimentology*, 35 (4): 671-821.
- Tbmazelli, L. J. 1990. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul - com ênfase no sistema eólico*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. 270 p.