

**Universidade de São Paulo
Departamento de Geografia
FLG 0253 - CLIMATOLOGIA I**

Ventos e Circulações Locais

**Prof. Emerson Galvani
Laboratório de Climatologia e
Biogeografia – LCB**

Questões motivadoras:

1. Você já ouviu falar que a água drenando em uma pia tem movimento circular horário em um hemisfério e anti-horário em outro? Verdade ou mito?

2. Sabe explicar porque os pescadores que se utilizam de jangadas ou embarcações não motorizadas saem para pescar durante a madrugada?

Como se formam os ventos?

As diferenças de temperatura do ar atmosférico e a conseqüente formação de zonas de pressões desiguais ocasionam a movimentação das massas de ar; assim formam-se os ventos.

Quando o ar começa a se mover, transforma-se em vento. Se uma corrente de ar é mais quente e leve do que o ar circundante, ela tende a se elevar, reduzindo a pressão atmosférica.

O vento consiste na circulação, no movimento da atmosfera. É útil separar o componente horizontal do vento do componente vertical (para cima e para baixo). Embora a componente vertical seja importante, a componente horizontal é muito mais forte.

Embora saibamos que o ar se moverá para cima se ele é mais quente e, portanto tem mais flutuação que o ar ambiente, o que causa os movimentos horizontais?

De agora em diante chamaremos simplesmente de vento os movimentos horizontais.

As forças atuando sobre parcelas de ar são:

1. FORÇA DE GRADIENTE DE PRESSÃO

Um gradiente de pressão existe quando a pressão do ar varia de um lugar para o outro. Se o ar está sujeito a uma pressão maior num lado que no outro, este desequilíbrio produzirá uma força resultante da região de maior pressão para a região de menor pressão.

Em suma, o gradiente horizontal de pressão (GHP) é a força geradora do vento. Quando o ar começa a se mover, a força de Coriolis, o atrito e eventualmente a força centrífuga começam a agir, mas somente para modificar o movimento, não para produzi-lo.

2. FORÇA DE CORIOLIS

A força desviadora é omissível para movimentos cujas escalas de tempo são muito pequenas comparadas ao período de rotação da Terra. Por isso, não tem fundamento a crença de que a rotação da água que escoa numa pia ou banheira ocorra consistentemente numa direção no Hemisfério Norte e na direção oposta no Hemisfério Sul, presumivelmente devido ao efeito de Coriolis (Gustave-Gaspard Coriolis).

A força de Coriolis desvia o movimento da parcela de ar para a esquerda do movimento no Hemisfério Sul e para a direita do movimento no Hemisfério Norte. Vamos tentar entender porque.

Os seguintes princípios são necessários antes que iniciemos a parte principal da explicação:

1. A **Primeira Lei de Newton** na forma de componentes - Objetos em movimento tendem a permanecer em movimento a menos que sejam impulsionados por uma outra força. Uma componente vetorial da velocidade não será alterada por força perpendicular a esta componente.
2. A **Geometria Esférica da Terra** – “X” graus de longitude geram diferentes distâncias entre meridianos (em quilômetros) em diferentes latitudes.
3. **Gravidade** - Objetos sob a influência da gravidade da Terra serão atraídos para (e, portando, orbitarão) o centro de massa da Terra.

**Em especial o princípio 2 é o mais fácil de visualizar
acompanhe a demonstração no globo terrestre.**

Observe que na linha do equador 1° de longitude equivale a 111 km ($40.075\text{km}/360^\circ$), na linha do Trópico equivale a 102 km ($36.784/360$) e no círculo polar 44 km ($15.992/360^\circ$).

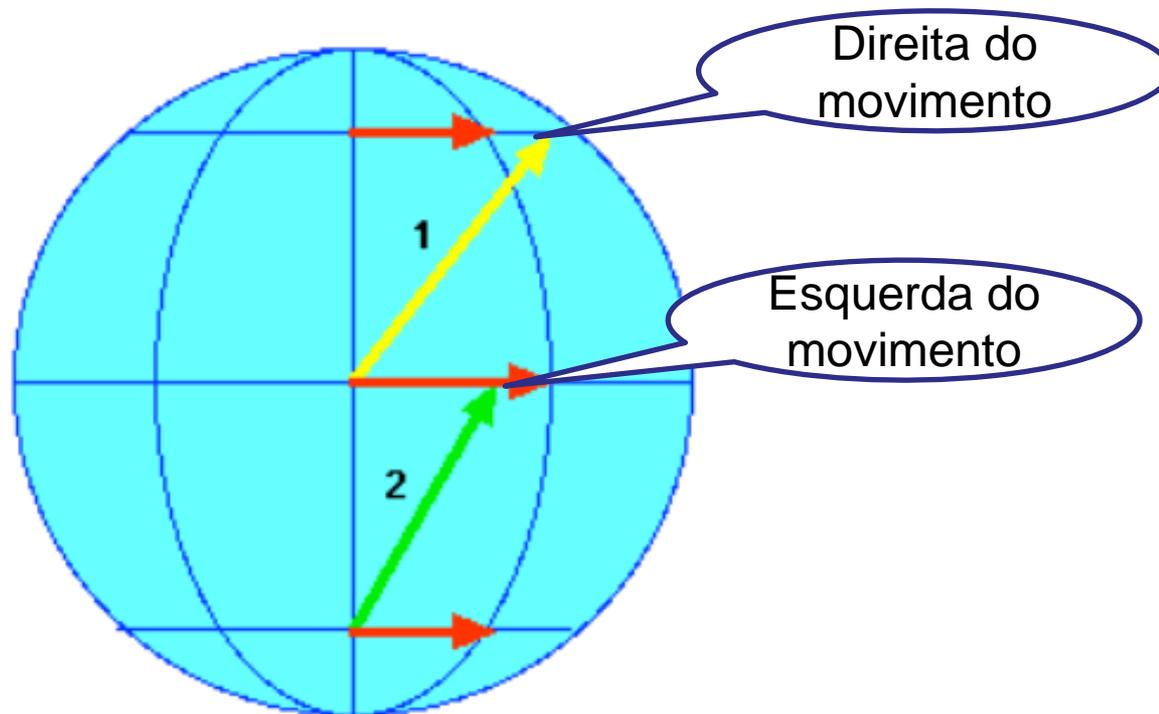
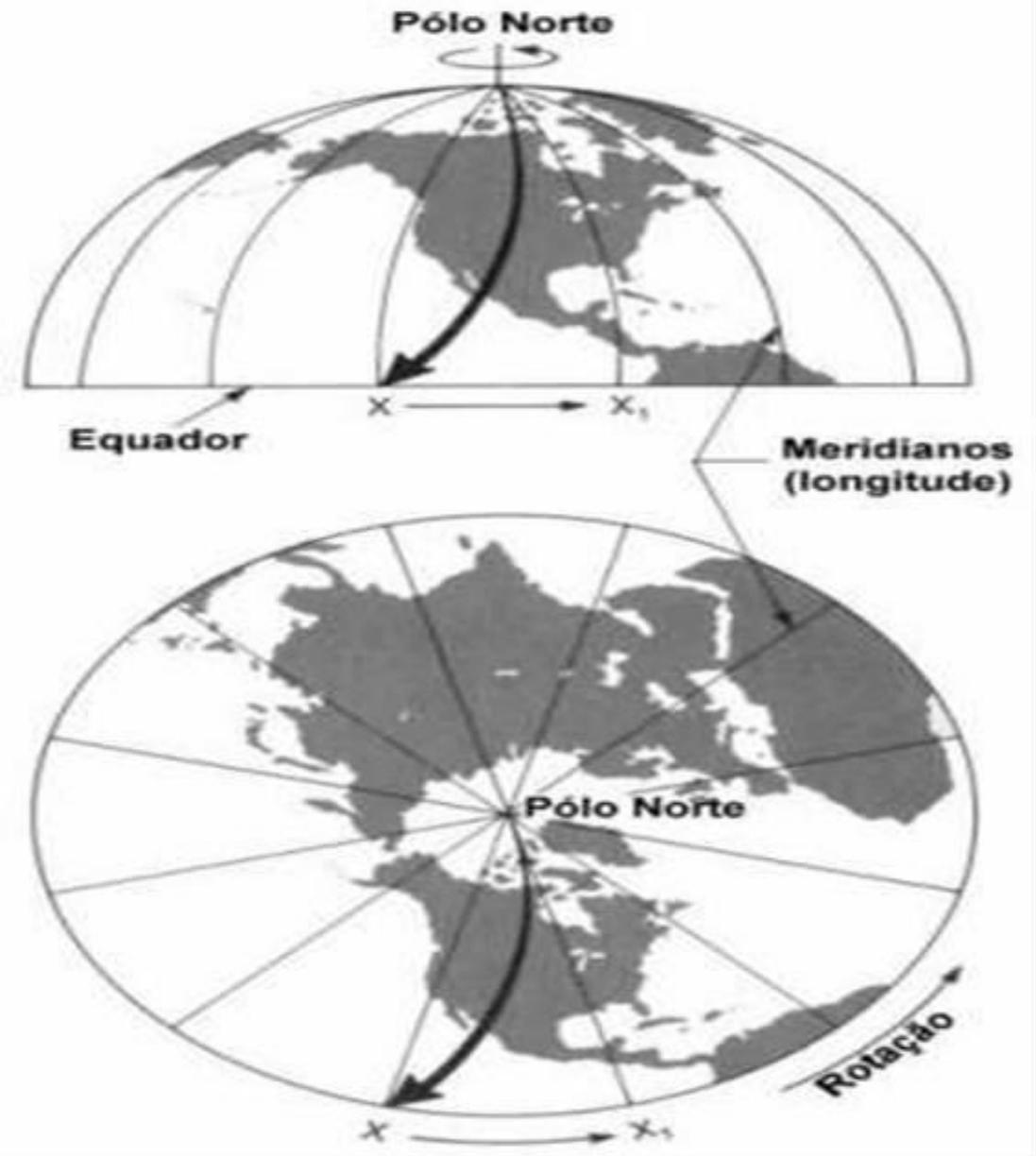


Figura 1: Deflexão aparente de um objeto numa trajetória meridional. As setas 1 e 2 representam o deslocamento dos objetos quando se deslocam do equador para norte e do sul para o equador, respectivamente. As setas vermelhas indicam a velocidade de deslocamento em cada um dos paralelos.

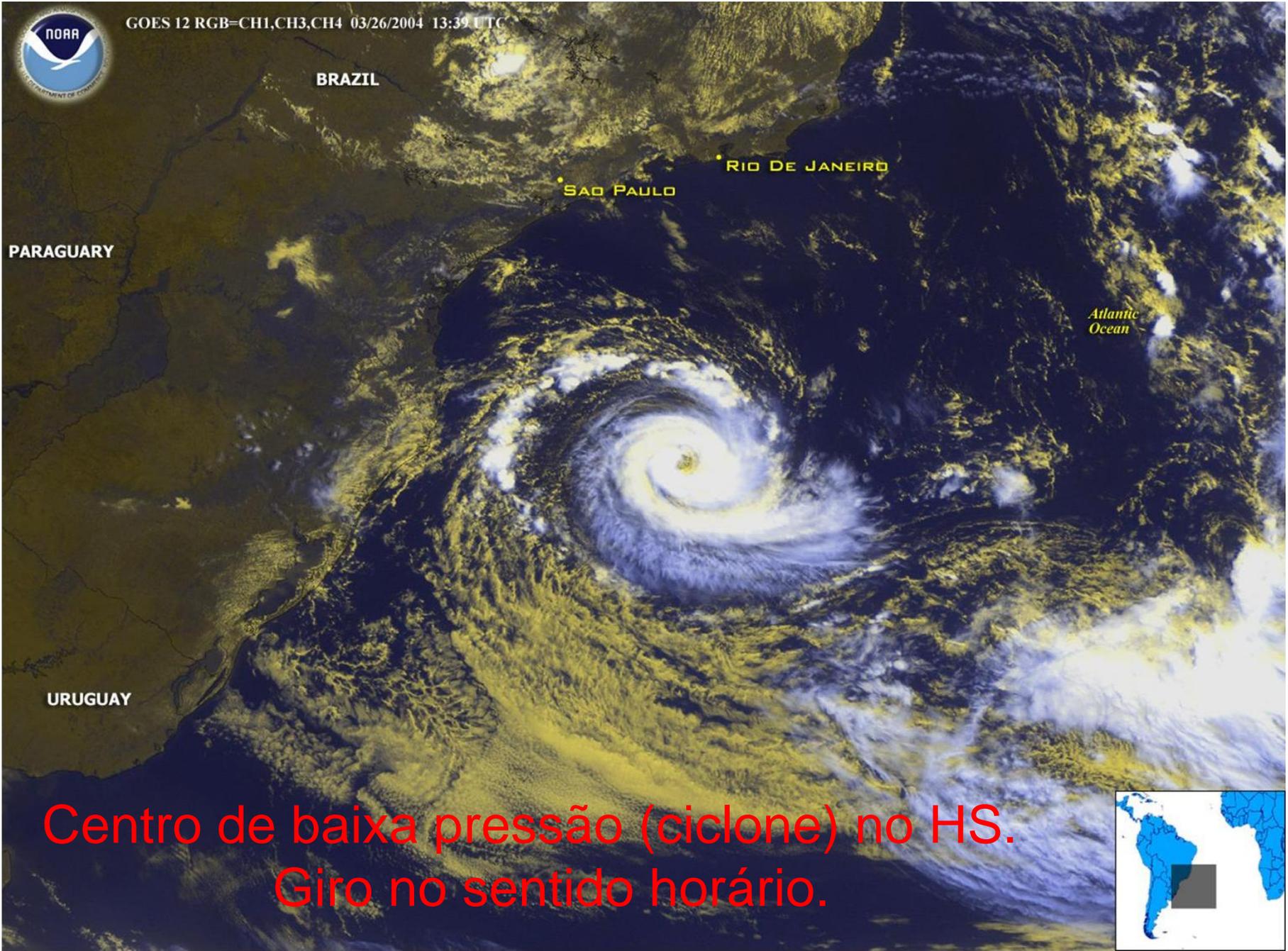
Material disponível no texto de leitura complementar.



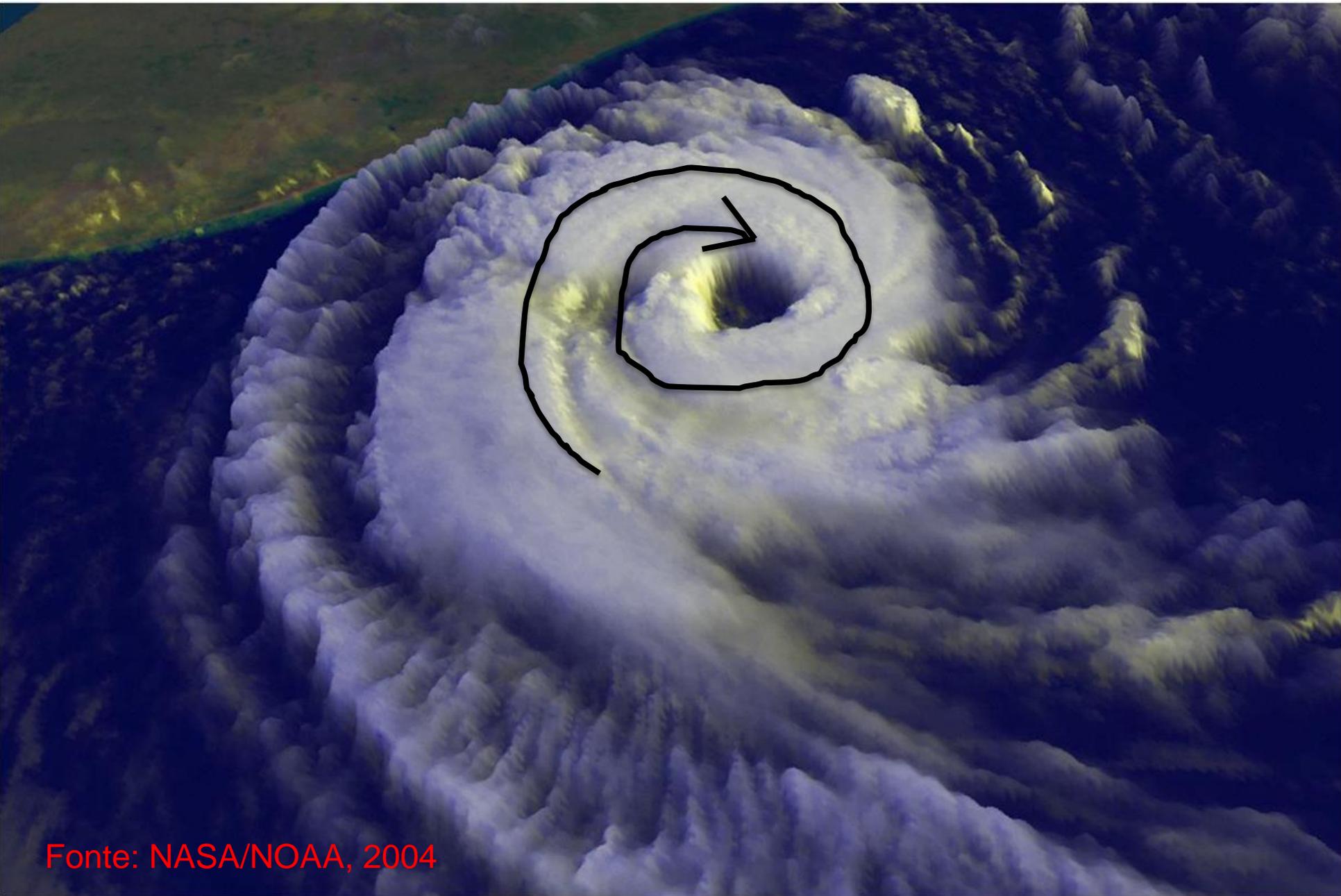
O efeito de Coriolis. Durante o vôo do foguete do Pólo Norte ao ponto **x**, a rotação da Terra levou o ponto **x** à posição **x1**.

A rotação da Terra faz com que a trajetória do foguete assinalada sobre a superfície da Terra seja curva.

Ciclone/Furacão Catarina 26 de março de 2004 (HS).



Ciclone/Furacão Catarina 26 de março de 2004 (HS).



Fonte: NASA/NOAA, 2004

Ciclone/Furacão Katrina – 29 de agosto de 2005 (HN).



Fonte: NASA/NOAA, 2005

Brisa Marítima e terrestre

Ao longo do dia com o recebimento de radiação solar as superfícies do oceano e do continente se aquecem diferentemente.

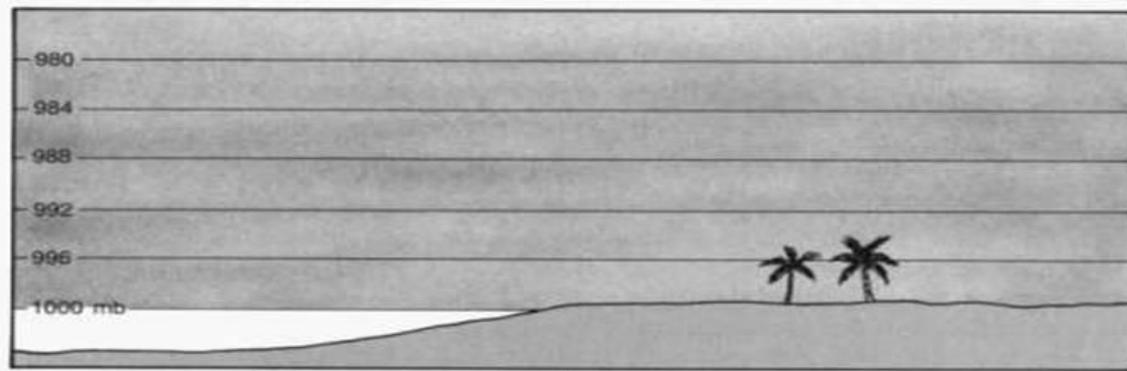
Isso é resultado do calor específico cinco vezes mais elevado da água em relação ao solo ($Cp_{H_2O}=1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $Cp_{\text{solo}} = 0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$).

O continente tende a se aquecer mais rápido, e também se resfriar, do que o oceano próximo. Isso resulta em um gradiente de temperatura e pressão.

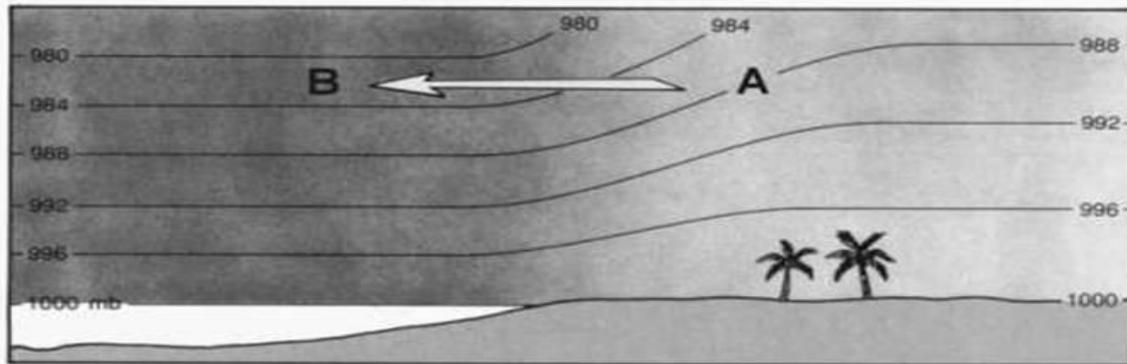
Neste caso, a força do **gradiente de pressão horizontal** determina um escoamento em superfície, do mar para a terra. Na região terrestre aquecida, a convecção dá origem a uma corrente ascendente.

Por continuidade da massa, fecha-se uma célula de circulação, caracterizando um escoamento da terra para o mar, em níveis superiores da camada, e uma corrente, descendente sobre o mar. O banhista que se encontra na praia sentirá os efeitos refrescantes da brisa de mar (Assunção, 2005).

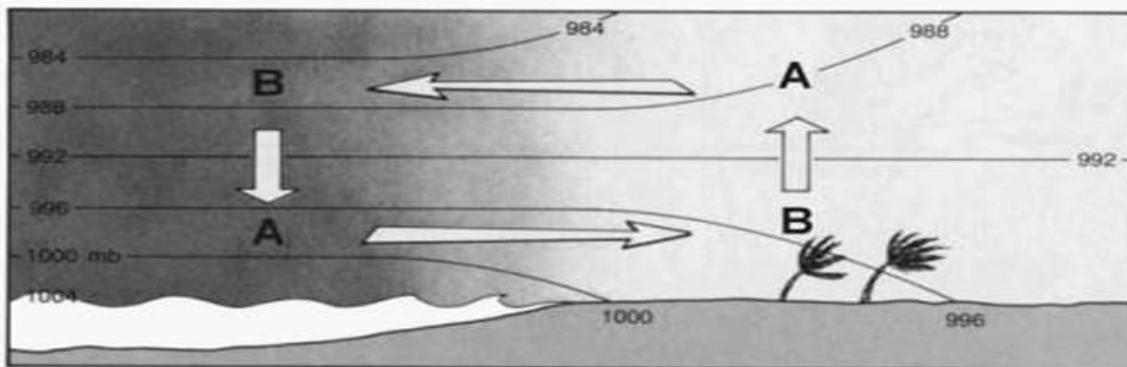
Essa circulação ocorre, normalmente, entre 10h as 20h.



(a)



(b)



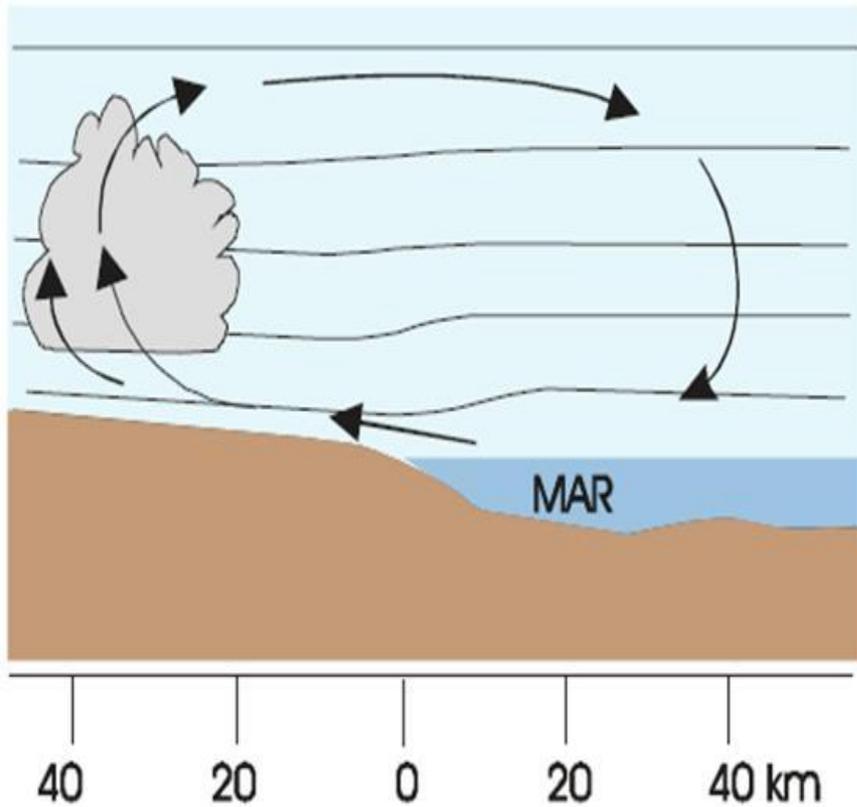
(c)

**Período
Diurno**

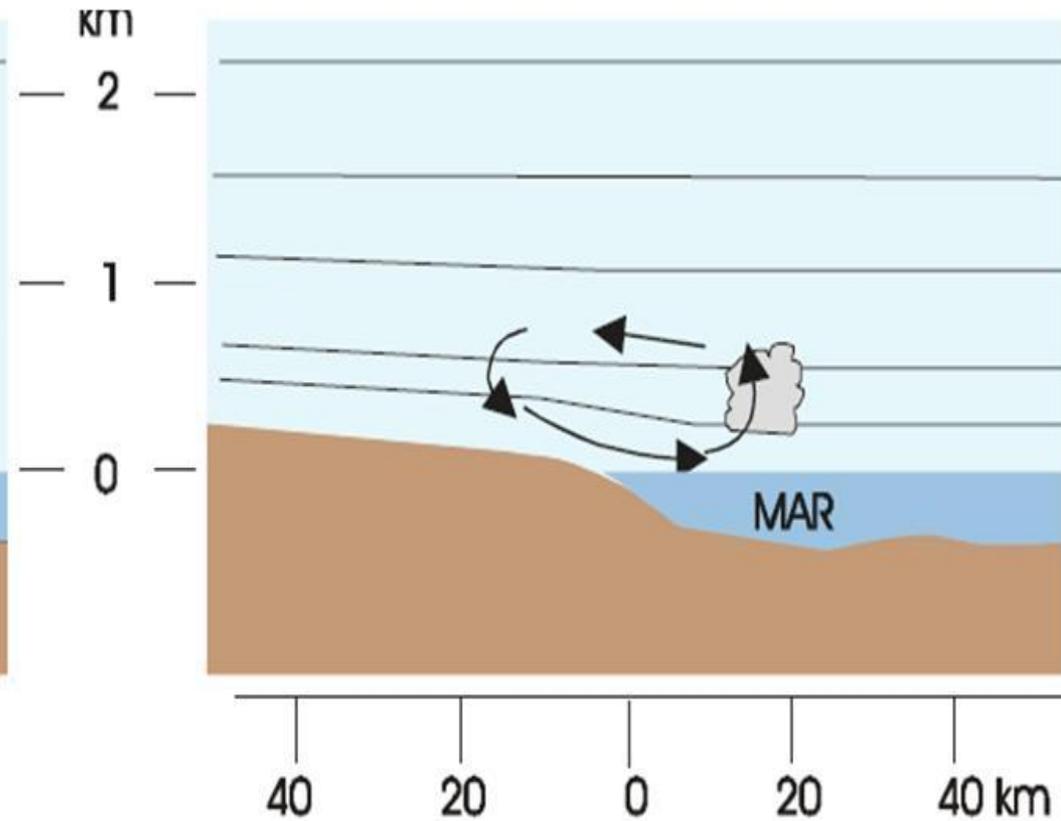
Seção transversal ilustrando a formação de brisa terrestre/marítima. O movimento vertical é necessário para completar a circulação.

Ao final da tarde e início da noite, quando a terra se esfria e desaparece o contraste de temperatura, a brisa cessa. À noite, em razão da maior taxa de resfriamento continental, em relação ao oceano, inicia-se a formação de um novo contraste térmico, o mar permanecendo mais aquecido que o continente. O mecanismo inverte-se, ocorrendo a formação de uma célula de circulação, em que o vento em altos níveis soprará **do mar para a terra** e, em baixos níveis, da terra para o mar. Os jangadeiros utilizam esse mecanismo para sair para pescar mar adentro.

Diurno

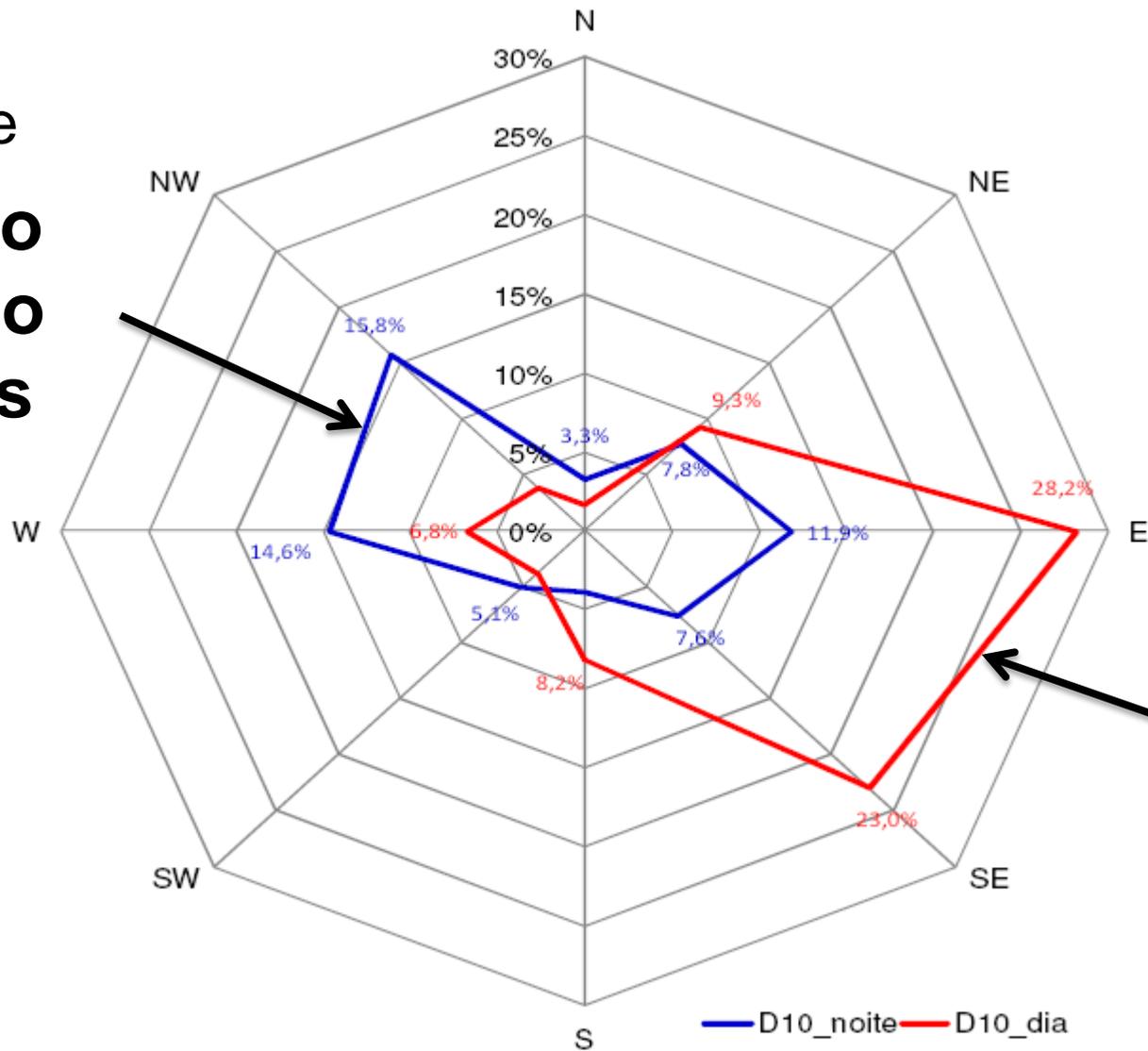


Noturno



Esquema representativo da ocorrência de brisa marítima (esquerda) e terrestre (direita). Fonte: Varejão Silva, 1992.

Brisa
Terrestre
**Período
noturno
(22h às
10h)**



Brisa
Marítima
**Período
diurno
(10h às
22h)**

Direção predominante do Vento na Barra do Rio
Ribeira, Iguape, SP (Litoral).

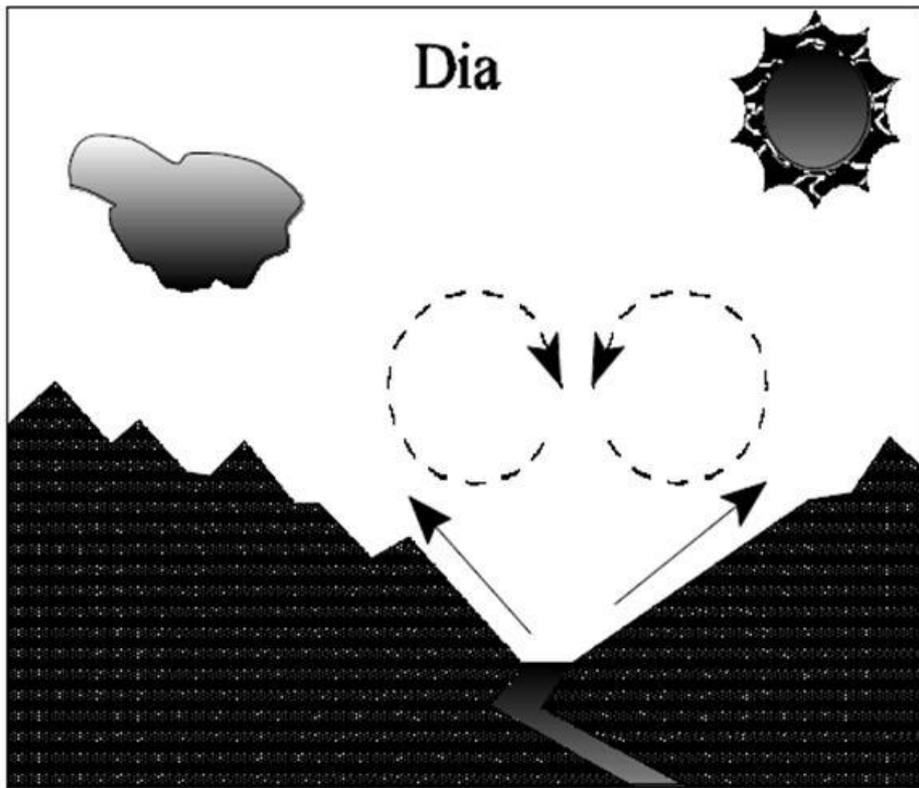
Brisa de vale e Brisa de montanha

Durante o período noturno o ar frio e denso tende a escoar (como um fluido) para as partes mais baixas do terreno.

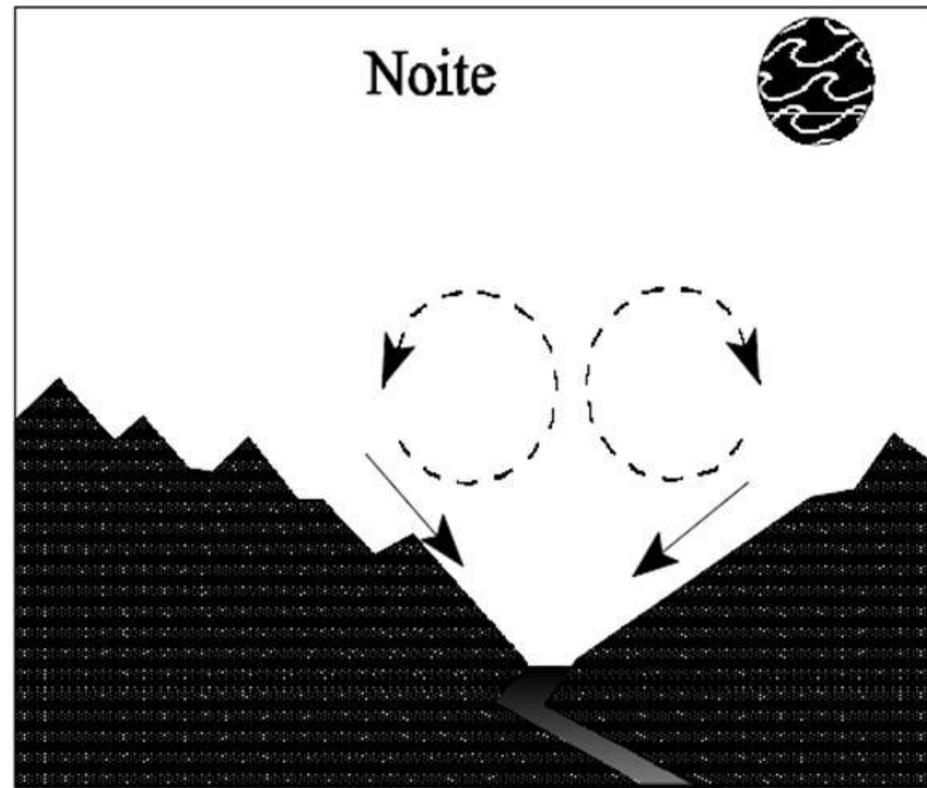
Esse ar frio vai se acumulando e se resfriando podendo ocorrer saturação do ar e formação de nevoeiros. Esse movimento do ar é denominado de Brisa Catabática ou de montanha. (do grego “*descendo colinas*”)

Brisa de vale e montanha

Durante as horas de incidência solar, as encostas de uma montanha e o ar em contato de aquecem mais rapidamente que o ar localizado nas camadas mais afastadas da superfície. Esse aquecimento diferencial estabelece uma circulação análoga à brisa do mar. O ar desloca-se encosta acima durante o dia. Esse movimento é denominado de brisa de vale ou anabática.

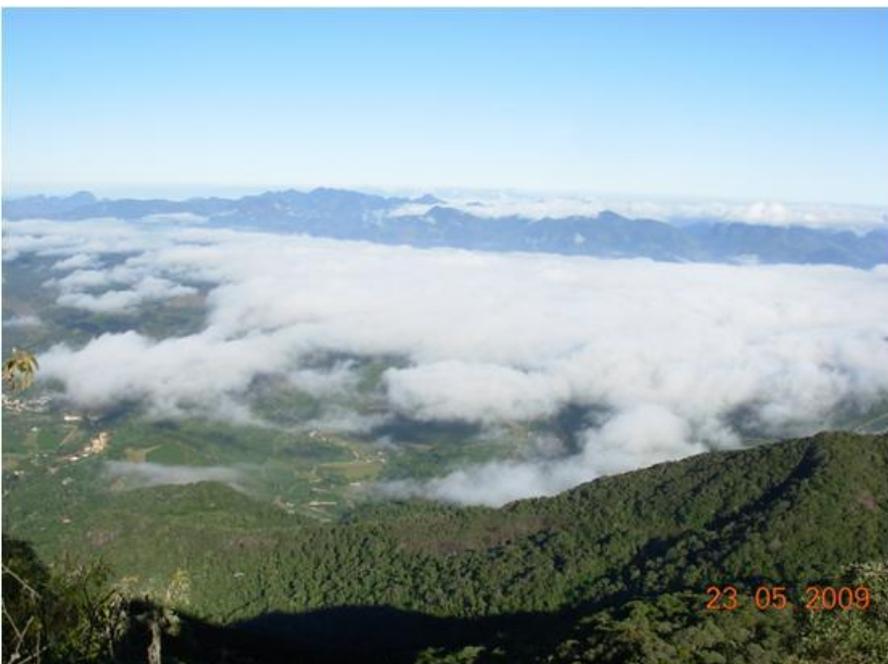


Brisa de vale



Brisa de montanha

Esquema representativo da ocorrência de brisa vale (esquerda) e montanha (direita).
Fonte: Varejão Silva, 1992.



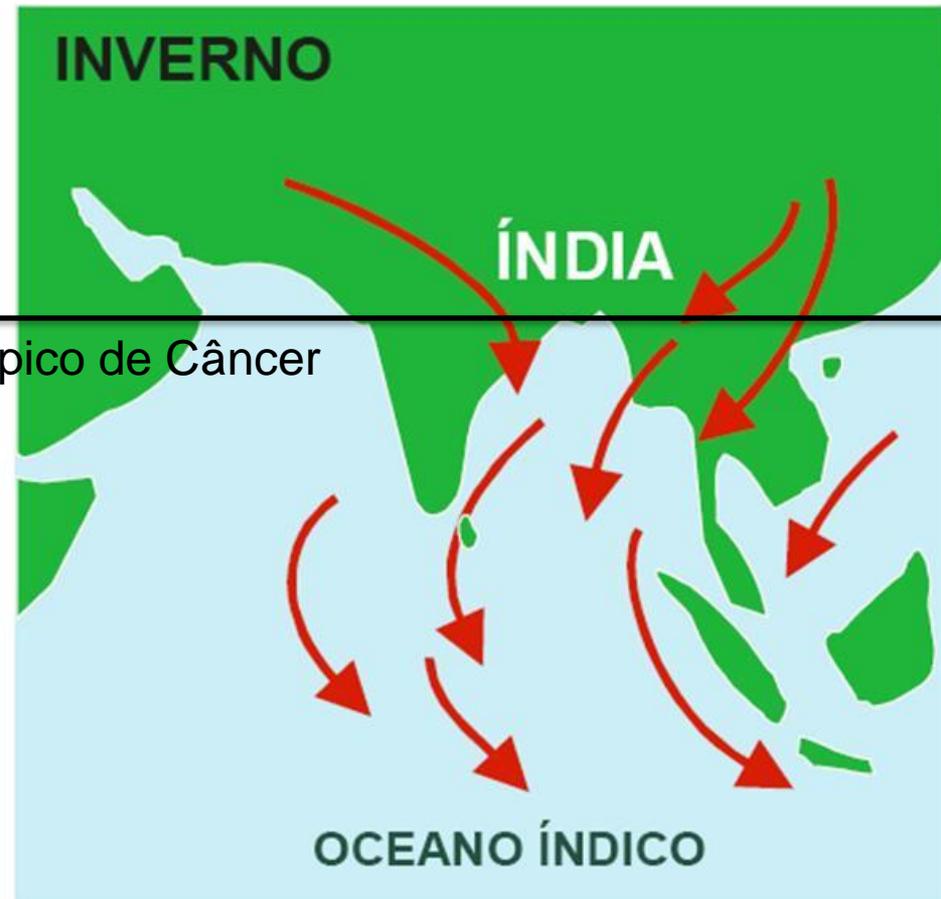
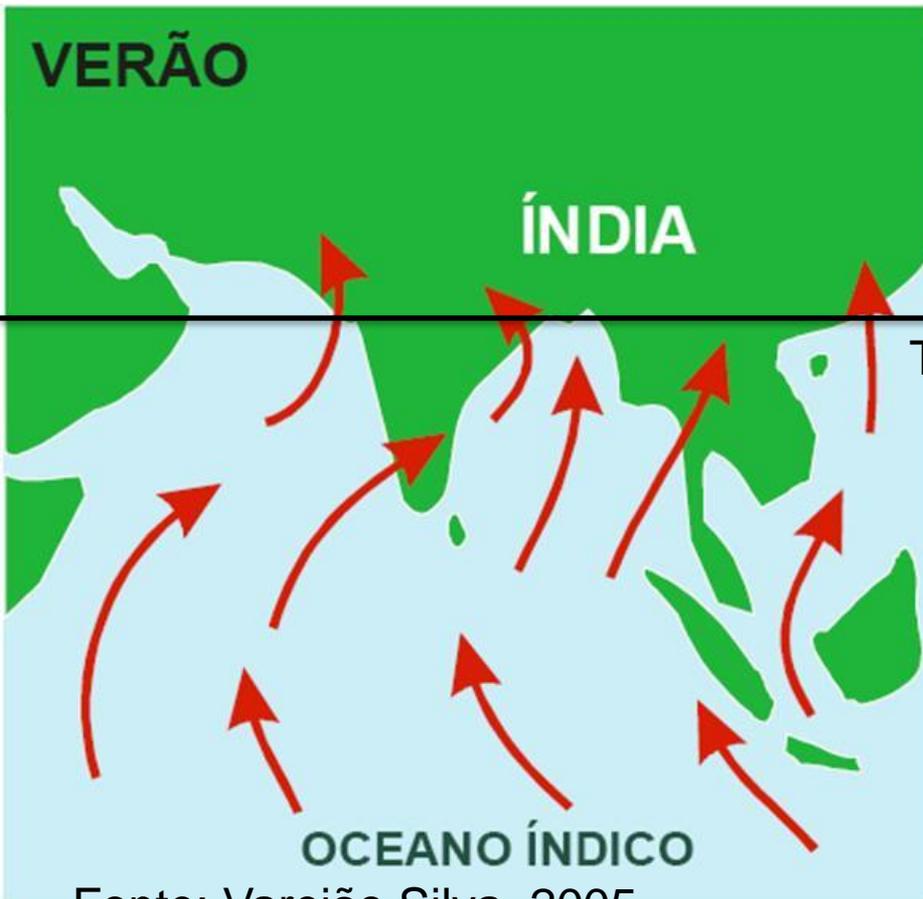
Fotos de Nadia Lima, 2009.

Ocorrência de Brisa catabática nas proximidades do Pico da Bandeira, Alto Caparaó, MG observada durante trabalho de campo de Estágio Supervisionado em Climatologia (outono de 2011).

Monções

Ao longo do verão (HN) o aquecimento do continente resulta em redução da pressão atmosférica, em contraposição centros de alta pressão formam-se sobre os oceanos. Esse gradiente horizontal de pressão condiciona a circulação do ar do oceano para o continente. Esses ventos chamados de monções de verão são bastante úmidos devido sua trajetória oceânica e provocam chuvas torrenciais entre os meses de junho a setembro.

No inverno a circulação se inverte uma vez que o oceano se mantém mais aquecido que o continente. Os ventos passam a soprar do continente para o mar e recebem o nome monções de inverno. Observe figura abaixo.

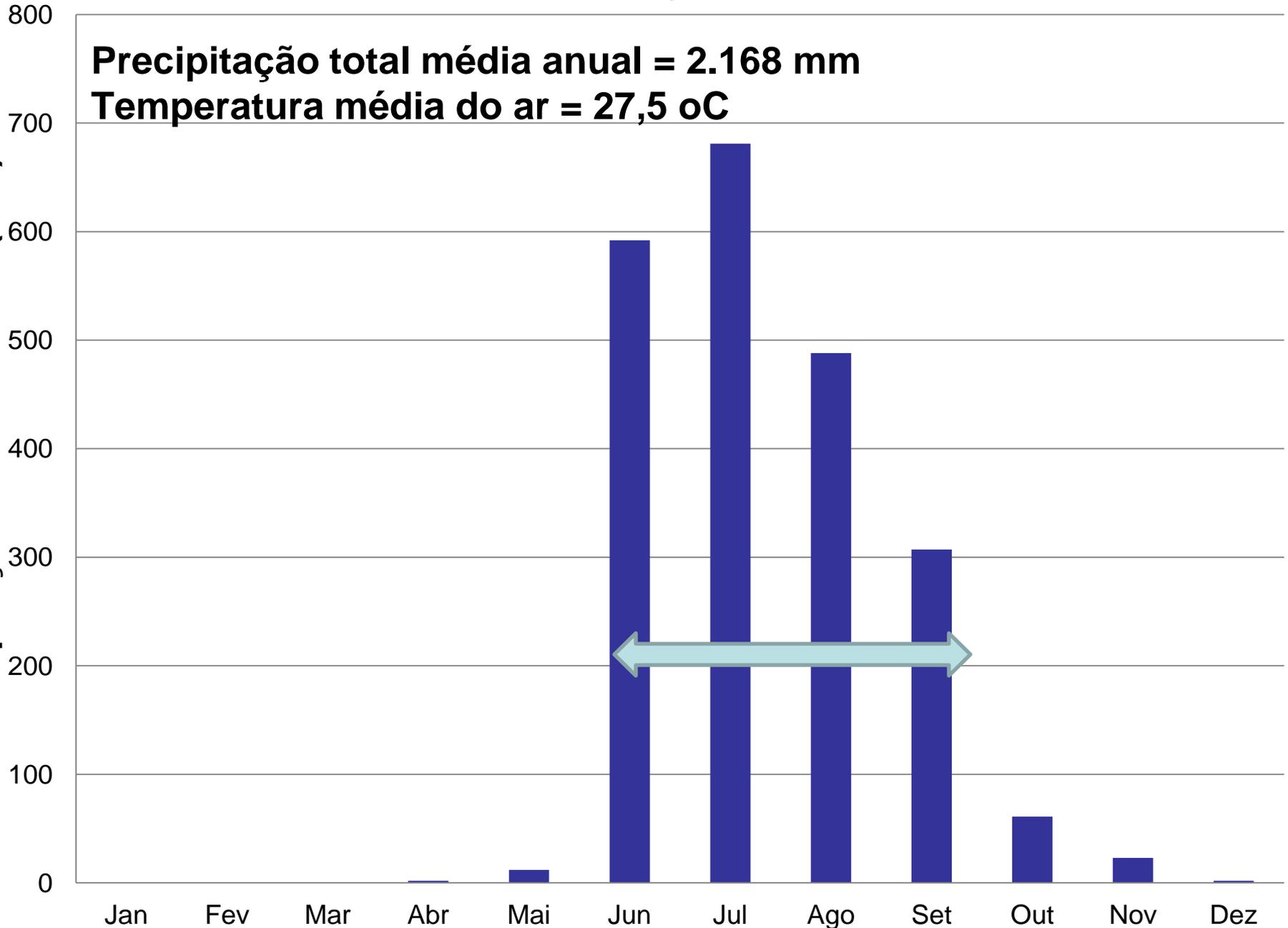


Precipitação em Mumbai, India (21° N).

Precipitação total média anual = 2.168 mm

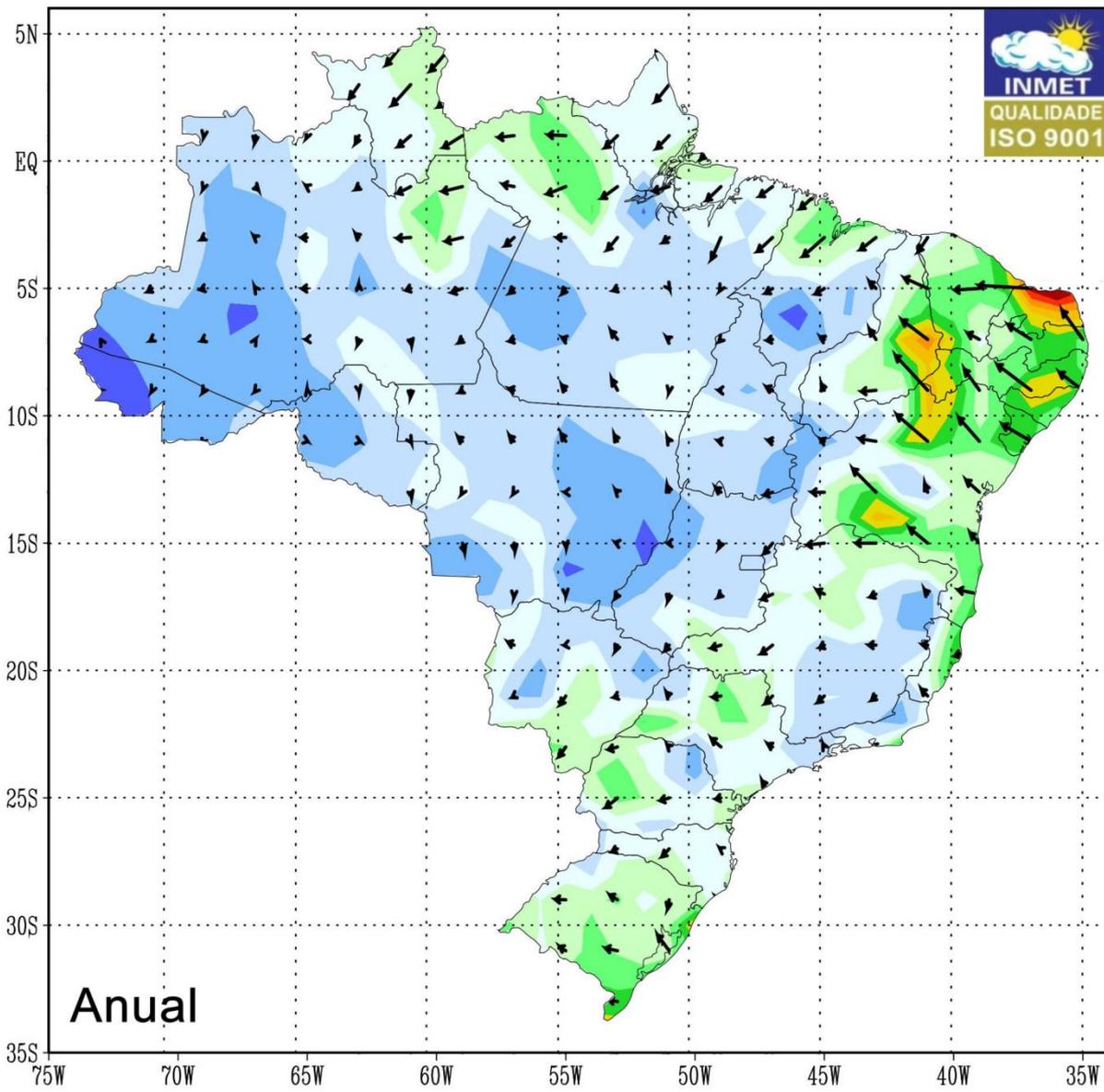
Temperatura média do ar = 27,5 oC

Precipitação média mensal (mm)



Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990

Vento a 10 metros



Isotacas e potencial eólico

Isotacas são linhas que representam valores de igual velocidade do vento.

Potencial eólico refere-se a conversão do vento em potencia ($W.m^{-2}$)

FIGURA 6.6 Localização dos projetos eólicos em operação e outorgados (construção não iniciada) – situação em setembro de 2003



Potencial eólico brasileiro. Observe locais de maior aproveitamento e compare com mapa de isotacas.

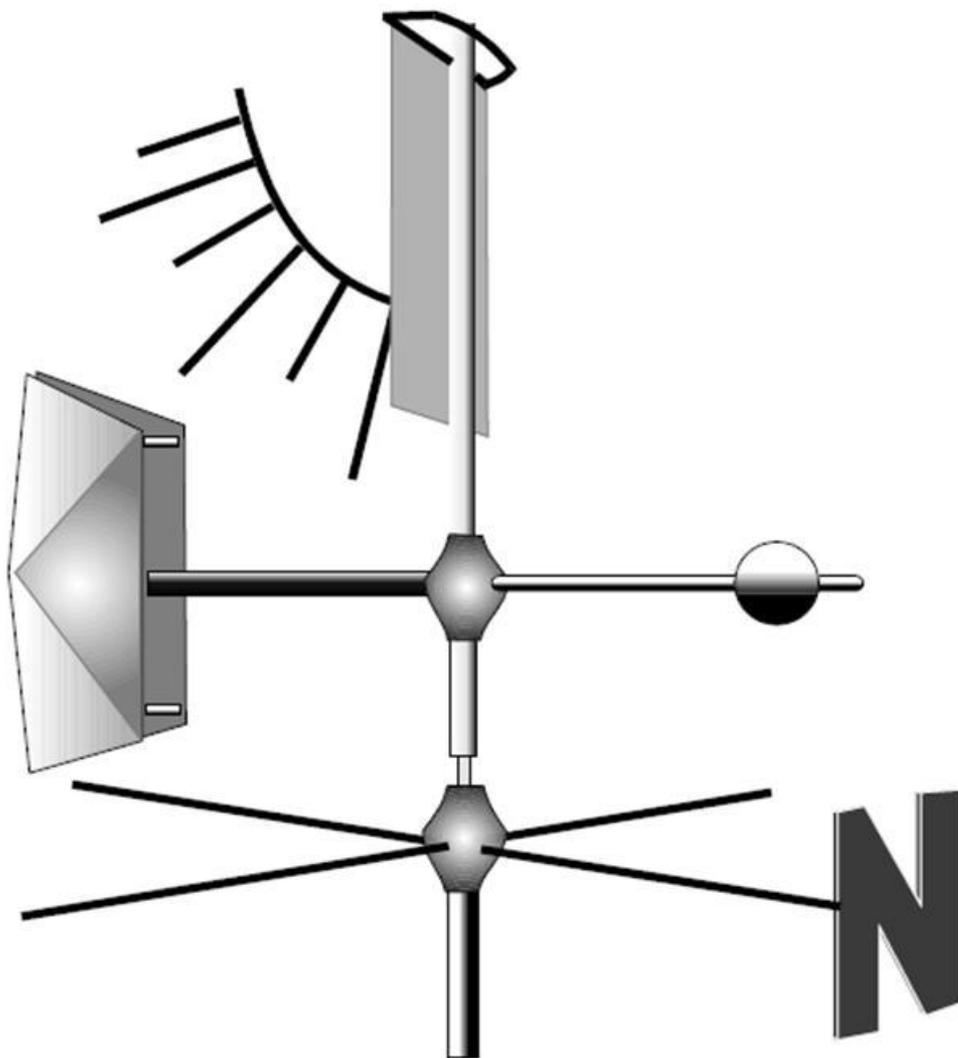
Fonte:
http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica%283%29.pdf

MEDIDAS DO VENTO

Os ventos são denominados a partir da direção de onde eles sopram. Um vento norte sopra do norte para o sul, um vento leste sopra de leste para oeste. A direção do vento é, portanto, o ponto cardinal de onde vem o vento: N, NE, E, SE, S, SW, W e NW. É comum encontrarmos também a direção do vento em graus (vento 0° igual a vento norte, vento 180° vento sul...). As medidas básicas do vento referem-se à sua direção e velocidade.

Dentre os instrumentos de medição do vento citaremos quatro que são bastante empregados: Catavento tipo Wild, anemômetro de canecas, anemógrafo universal e anemômetro digital.

Catavento Wild



O catavento tipo Wild, mede a direção e a velocidade do vento. A direção é dada por uma haste horizontal orientada por um par de aletas em relação a quatro hastes fixas que indicam os pontos cardeais. As aletas também mantêm a placa de medição da velocidade do vento sempre perpendicular à direção do vento.

A velocidade é obtida a partir da flexão de uma placa retangular móvel em relação à vertical, sob a ação do vento. A deflexão é medida sobre uma escala de 8 pinos colocados sobre um arco de metal. A conversão para velocidade do vento é feita pela tabela abaixo. O catavento é instalado a 6 ou 10 m de altura.

Tabela para conversão da velocidade do vento (catavento tipo Wild)

PINO Numero	1	2	3	4	5	6	7	8
VELOCIDADE (M/S)	0	2	4	6	8	11	14	20

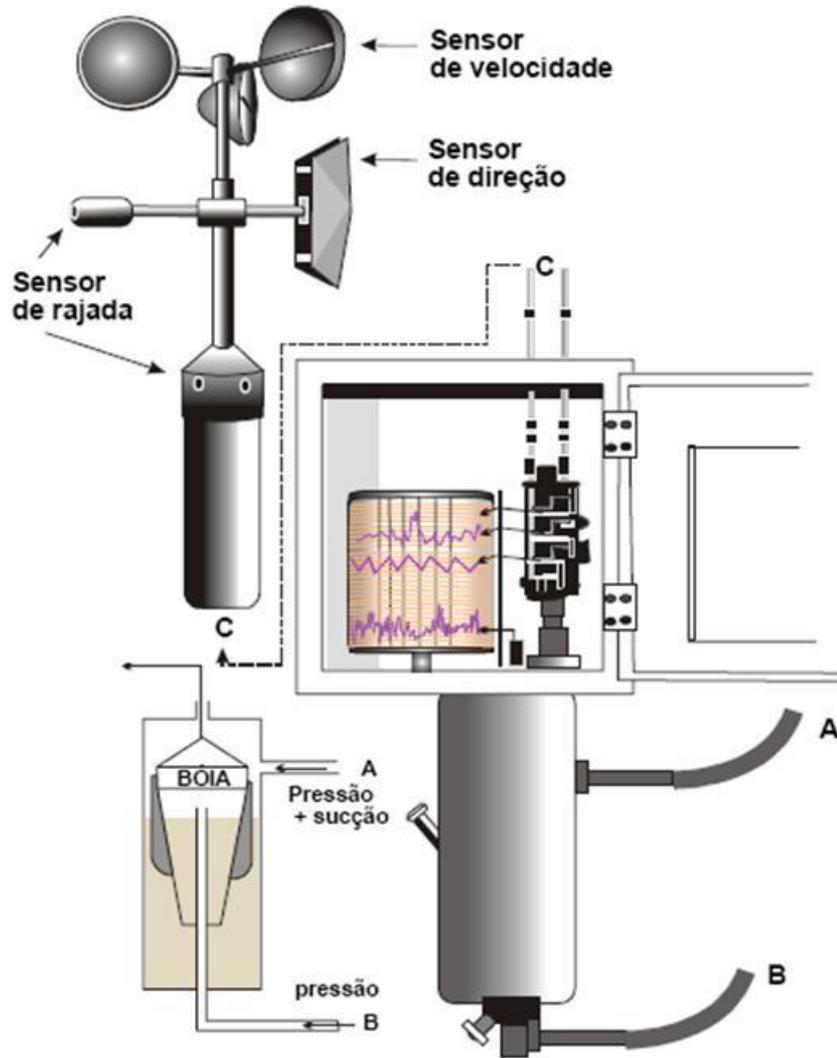
O anemômetro de canecas dá uma medida precisa da velocidade horizontal do vento. O vento gira as canecas, gerando uma fraca corrente elétrica, que é calibrada em unidades de velocidade. A velocidade é indicada num mostrador



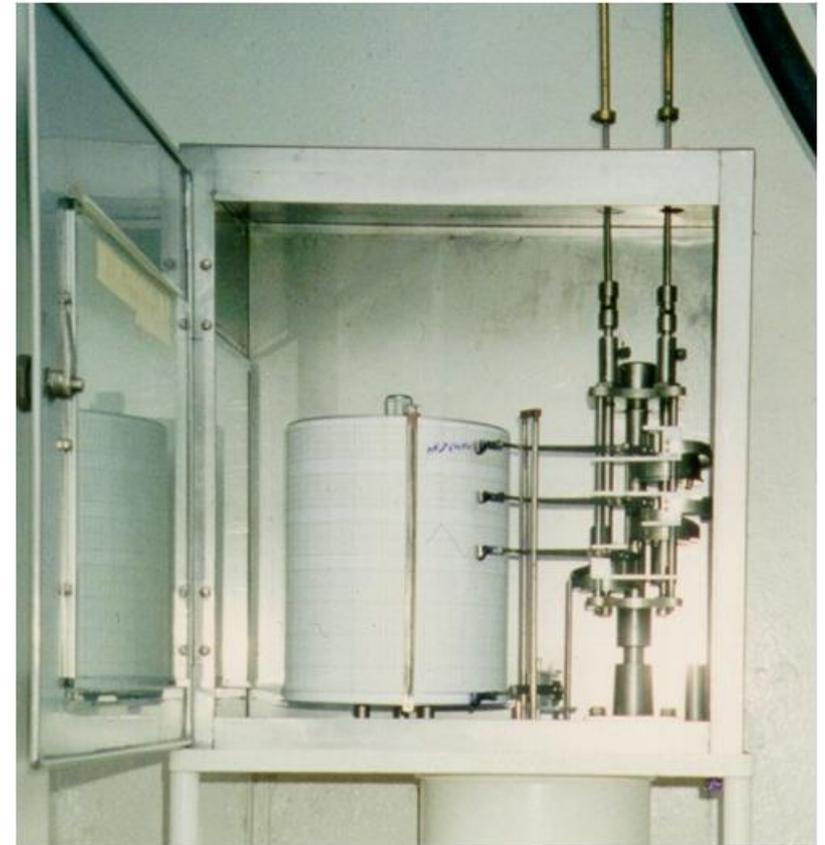
Anemômetro de canecas.

Por exemplo dia 1 de janeiro de 2008 a leitura do anemômetro era de 34612,4 km as 09h da manhã. No outro dia (24h depois) o leitura era de 35356,4 km. Qual a velocidade média do vento? Leitura do dia 02 menos a leitura do dia 1 = $35356,4 - 34612,4$ resulta em 744 km. Se dividirmos por 24h temos 31 km/h.

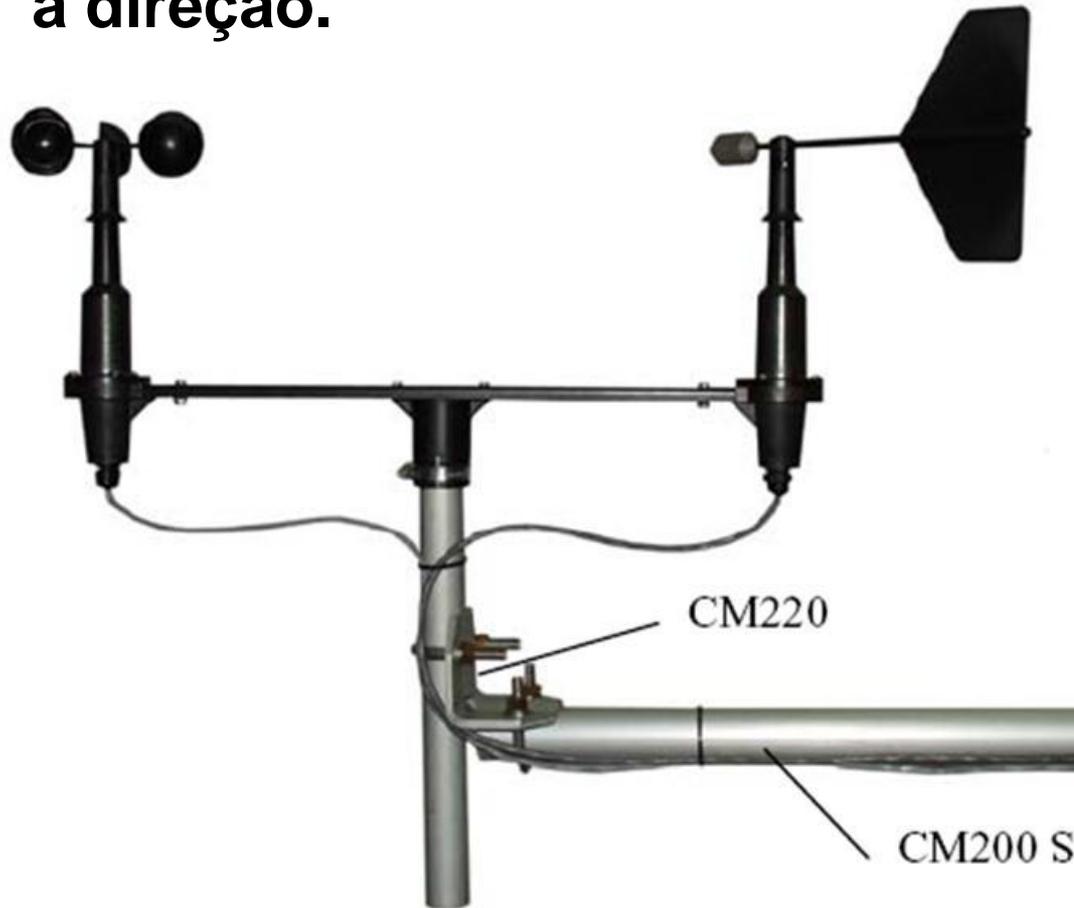
O anemógrafo universal registra tanto a direção como a velocidade do vento.



Parte interna do anemógrafo Universal. Fonte: Inmet, 2008



O anemômetro digital consiste em um sistema de conchas (para a velocidade) e uma seta indicadora para a direção.



**Anemômetro Digital
instalado na Ilha dos
Papagaios, Ribeira de
Iguape, SP.**



Anemômetro que levaremos no campo



Velocidade do vento

A velocidade do vento é normalmente expressa em metros por segundo (m/s), em quilômetros por hora (km/h) ou em knots – kt (pronuncia-se nó). Um kt corresponde a uma milha náutica (1852 m) por hora.

1 kt = 1 milha por hora (1852 m/h)

1 kt = 0,514 m/s

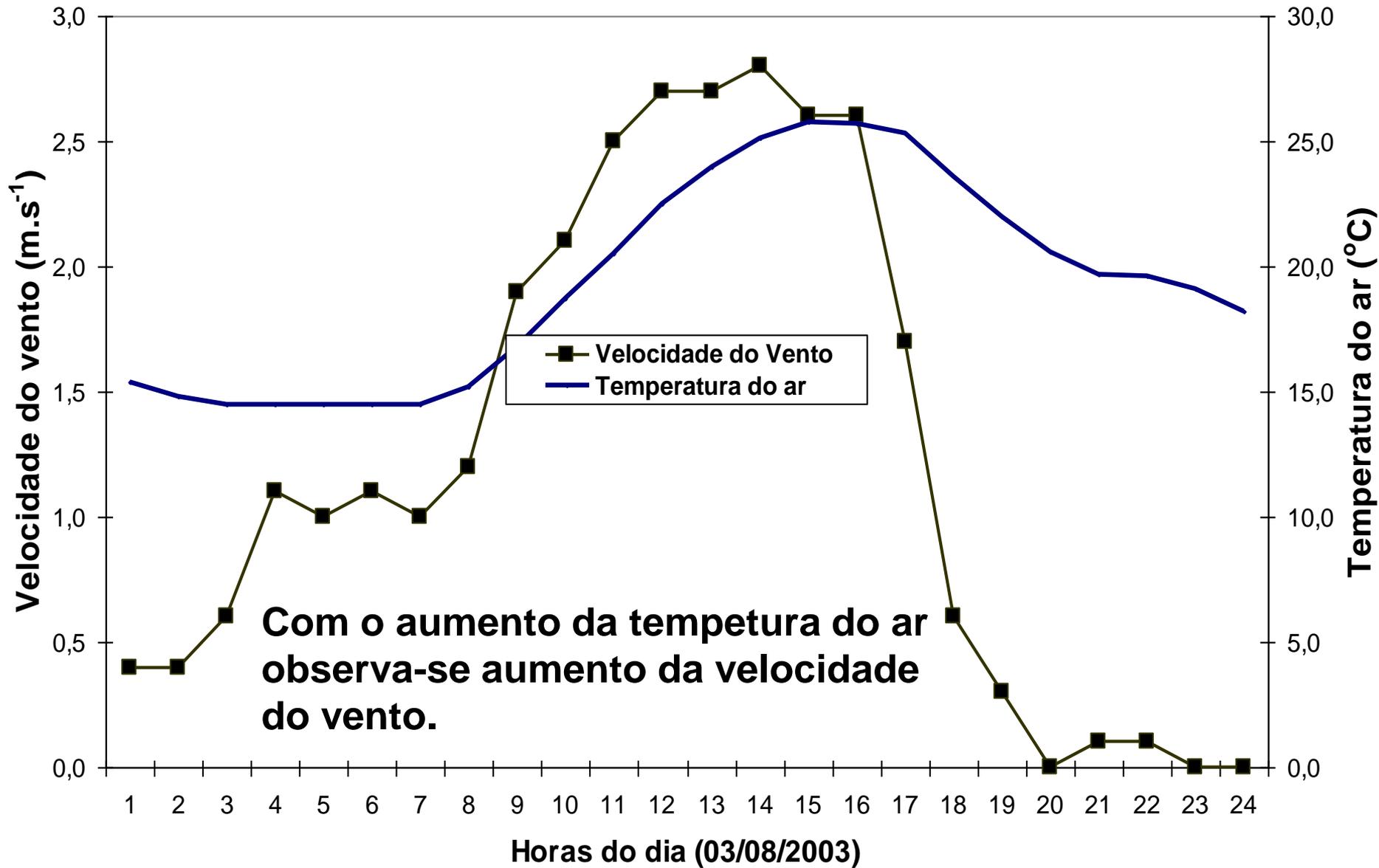
Para converter km/h para m/s dividir por 3,6 e vice-versa.

A velocidade média do vento pode ser obtida observando a movimentação de objetos sobre a superfície terrestre. Embora esta seja uma aproximação resulta em uma boa estimativa da velocidade do vento e consiste em boa alternativa para trabalhos de campo onde não se dispõe de anemômetros.

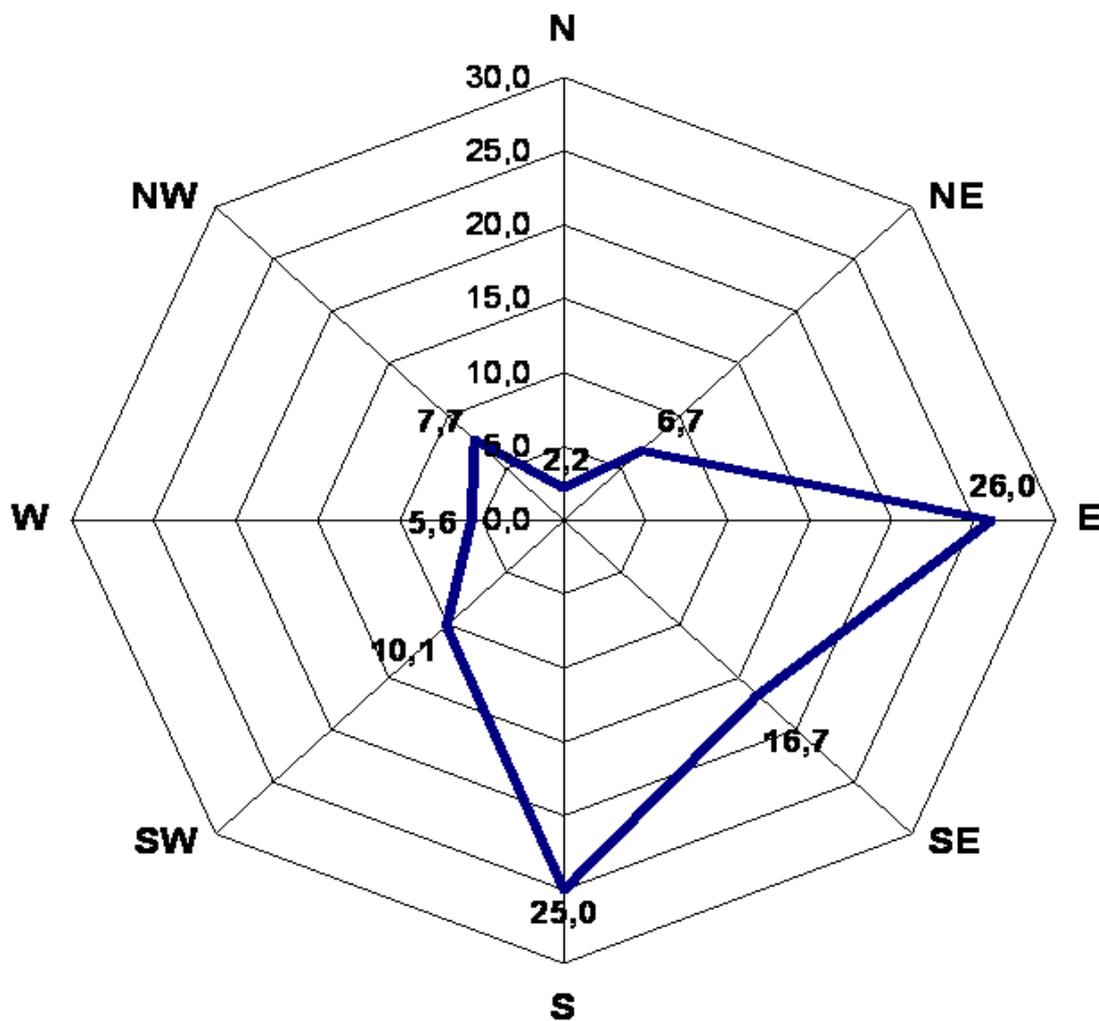
Sir Francis Beaufort (1774-1857), almirante Britânico, criou uma escala, de 0 a 12, observando o que acontecia no aspecto do mar (superfície e ondas), em consequência da velocidade dos ventos. Posteriormente, esta tabela foi adaptada para a terra.

Força	Designação	Velocidade km/h	Influência nos objetos em Terra.
0	CALMARIA	0 a 1	A fumaça sobe verticalmente.
1	BAFAGEM	2 a 6	A direção da bafagem é indicada pela fumaça, mas a grimba ainda não reage.
2	ARAGEM	7 a 12	Sente-se o vento no rosto, movem-se as folhas das árvores e a grimba começa a funcionar.
3	FRACO	13 a 18	As folhas das árvores se agitam e as bandeiras se desfraldam.
4	MODERADO	19 a 26	Poeira e pequenos papéis soltos são levantados. Movem-se os galhos das árvores.
5	FRESCO	27 a 35	Movem-se as pequenas árvores. Nos lagos a água começa a ondular.
6	MUITO FRESCO	36 a 44	Assobios na fiação aérea. Movem-se os maiores galhos das árvores. Guarda-Chuva usado com dificuldade.
7	FORTE	45 a 54	Movem-se as grandes árvores. É difícil andar contra o vento.
8	MUITO FORTE	55 a 65	Quebram-se os galhos das árvores. É difícil andar contra o vento.
9	DURO	66 a 77	Danos nas partes salientes das árvores. Impossível andar contra o vento.
10	MUITO DURO	78 a 90	Arranca árvores e causa danos na estrutura dos prédios.
11	TEMPESTUOSO	91 a 104	Muito raramente observado em terra.
12	FURACÃO	Acima de 105	Grandes estragos.

Variação Diária da Velocidade do vento.



Direção predominante do vento – forma de apresentação.



Direção	%
N	2,2
NE	6,7
E	26,0
SE	16,7
S	25,0
SW	10,1
W	5,6
NW	7,7

Figura e tabela: Direção predominante do vento média mensal para os anos de 2000 a 2011. Estação: Santos-SP, Lat.: -23,93°S, Long.: -46,3° W e alt.: 3m.

- Sugestão de leitura:
- Leituras complementares na página do apoio didático.
- Capítulo VII da referência:
- VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. INMET: Brasília, 2000. 515p.

- Capítulo V da referência:
- AYOADE, J.O. Introdução a Climatologia para os trópicos. 3ª ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1991. 332p. (tradução Professora Maria Juraci Zani dos Santos)

- Capítulo IV e capítulo IX da referência:
- PEREIRA, A.R., SENTELHAS, P.C., ANGELOCCI, L.R. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.