



UENF

Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro

ANEMOMETRIA, SISTEMAS DE MEDIÇÃO E FLUXOS DE ENERGIA

Prof. José Carlos Mendonça
Eng. Agrônomo D.Sc.
LEAG/CCTA/UENF
21/11/2012

2.1. MOVIMENTOS ATMOSFÉRICOS

O vento pode ser considerado como o ar em movimento no sentido horizontal. Resultado do deslocamento de massas de ar originárias de gradientes de pressão, esse deslocamento é distinto para diferentes regiões pois é influenciado por características intrínsecas de cada local, como a orografia e a rugosidade do solo. O vento se desloca de uma área de maior pressão para uma área de menor pressão. Quanto maior o gradiente de pressão maior será a velocidade de deslocamento. O gradiente de pressão é formado principalmente pela absorção distinta dos raios solares no planeta, sendo o coeficiente de absorção maior na faixa equatorial e menor nos polos (Pereira, 2002).

O ar possui características de fluido, quando aquecido se expande e diminui a densidade e quando resfriado se contrai e aumenta a densidade, essas propriedades fazem com que a atmosfera terrestre seja mais contraída nos polos onde a temperatura é menor e expandida na faixa equatorial, com consequente formação do gradiente de pressão.

O VENTO

O VENTO PODE SER CONSIDERADO COMO O AR EM MOVIMENTO NO SENTIDO HORIZONTAL. RESULTADO DO DESLOCAMENTO DE MASSAS DE AR ORIGINÁRIAS DE GRADIENTES DE PRESSÃO.

MACROESCALA: O gradiente de pressão dos pólos para a região equatorial é responsável pela circulação na macroescala, tendo extensão horizontal que varia entre 100 a 3.000 km.

MESOESCALA: São os movimentos que incluem as brisas marítima e terrestre, circulação dentro de vales e os fenômenos do efeito de ilhas de calor. Os fenômenos dessa escala que influenciam a qualidade do ar local são variações diurnas da estabilidade atmosférica e a topografia regional. A extensão horizontal dessa escala é da ordem de 100 km e na vertical é de dezenas de metros até 1 km acima do solo.

MICROESCALA: Incluem os movimentos resultantes dos efeitos aerodinâmicos das edificações das cidades e dos parques industriais, rugosidade das superfícies e a cobertura vegetal de diversos tipos de solo. Esses movimentos são responsáveis pelo transporte e difusão dos poluentes em um raio horizontal inferior a 10 km e entre 100 e 500 metros na vertical acima do solo.

IMPORTANCIA DA CARACTERIZAÇÃO DO VENTO

- **DISPERÇÃO DE POLUENTES, SEMENTES E ESPOROS DE FUNGOS;**
- **DIREÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE FOCOS DE QUEIMADAS;**
- **TRANSPORTE DE MASSAS DE AR;**
- **DISSIPACÃO DE CALOR;**
- **EROSÃO EÓLICA;**
- **CATASTROFES: TSUNAMES, RESSACAS DO MAR, QUEDA DE POSTES, CASAS, ETC;**
- **ORIENTAÇÃO DE QUEBRA VENTOS, EDIFICAÇÕES, ETC...**
- **ENERGIA EÓLICA**

- **AUMENTO DA DEMANDA ENERGÉTICA MUNDIAL PARA O CRESCIMENTO ECONÔMICO.**
- **MATRIZ ENERGÉTICA PROVENIENTE DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E CARVÃO VEGETAL.**
- **APELO AO MEIO AMBIENTE: UTILIZAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS E MENOS POLUENTES.**
- **INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL.**

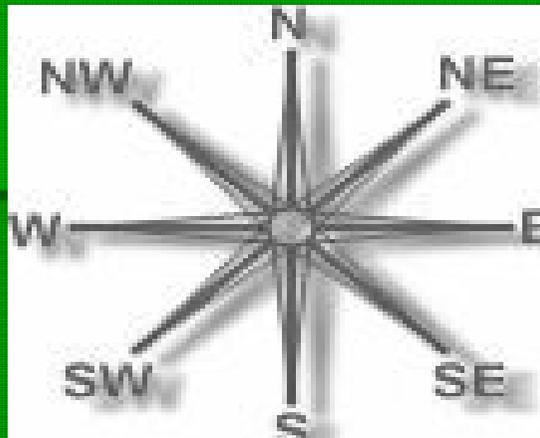
ENERGIA EÓLICA

- ENERGIA LIMPA E RENOVÁVEL;
- RECURSO INESGOTÁVEL;
- CAPACIDADE PARA ATENDER ÁREAS ISOLADAS;
- PODE SER INCORPORADO A MATRIZ ENERGÉTICA PRINCIPAL;
- TODO O LITORAL BRASILEIRO TEM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA;
- VIÁVEL ECONOMICAMENTE.

Caracterização do vento

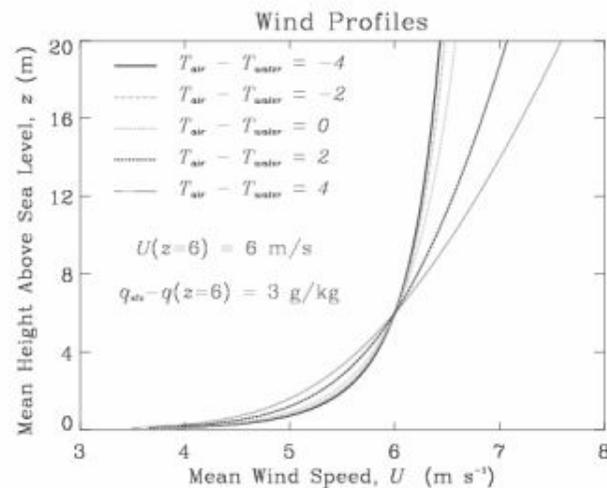
- Direção do vento

A direção do vento é indicada pela direção de onde o vento é proveniente, ou seja a direção do vento é dada a partir de sua origem.



Velocidade do vento

A velocidade do vento expressa a distância percorrida pelo vento em um determinado intervalo de tempo. Normalmente é expressa em metros por segundo (m/s) ou quilômetros por hora (km/h)



A velocidade do vento aumenta exponencialmente com a altura. Isso se dá em função da redução do atrito conforme o fluxo de ar se distancia da superfície.

Medição do vento

Velocidade: anemômetro



Anemômetro de caneca



Anemômetro de hélice



Anemômetro Sônico

Torre anemométrica



Registros de velocidade e direção

- . Período de estudo: Desde junho/2007
- . 5 níveis de monitoramento
(50, 30, 15, 10 e 3m)
- . Velocidade média, máxima e mínima
- . Direção
- . Hora: Intervalos de 15 minutos

Velocidade do vento

Medida

O Vento é caracterizado por sua direção e velocidade. Direção do vento se refere à direção da qual o vento está soprando. Para o cálculo da evapotranspiração, a velocidade do vento é uma variável relevante. Como a velocidade do vento em uma determinada localização varia com o tempo, é necessário expressar isto como uma média em um determinado intervalo de tempo. Velocidade do vento é determinada em metros por segundo (m s^{-1}) ou quilômetros por dia (km dia^{-1}).

Velocidade do vento é medida com anemômetros. Os anemômetros comumente usados em estações meteorológicas são composto de copos ou hélices que são giradas pela força do vento. Contando o número de revoluções em um determinado período de tempo, é calculada a velocidade do vento médio em um intervalo de tempo.

Relação do perfil do vento

As velocidades do vento medidas a alturas diferentes sobre a superfície do solo são diferentes. A fricção da superfície tende a reduzir a velocidade vento que salta este. A velocidade do vento é menor na superfície e aumenta com a altura. Por isto são colocados anemômetros a uma altura escolhida padrão, i.e., 10 m em meteorologia e 2 ou 3 m em agrometeorologia. Para o cálculo da evapotranspiração, é necessária a velocidade do vento medida a 2 m sobre a superfície. Para ajustar os dados de velocidade do vento obtidos de instrumentos colocados a elevações diferentes da altura padrão de 2m, um perfil logarítmico da velocidade do vento pode ser usado para medidas sobre uma superfície coberta de grama baixa:

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (47)$$

onde

u_2 = velocidade do vento a 2 m sobre a superfície do solo [m s^{-1}],

u_z = velocidade do vento medida a z m sobre superfície do solo [m s^{-1}],

z = altura de medida sobre superfície do solo [m].

EXEMPLO 14. Dados de velocidade do vento ajustado para altura padrão

Determinar a velocidade do vento para a altura padrão de 2 m, para uma velocidade do vento de 3.2 m/s medida a 10 m da superfície do solo.

Para:	$u_z =$	3.2	m/s
e:	$z =$	10	m
Então:	Fator de Conversão = $4.87/\ln(67.8(10) - 5.42) =$	0.75	-
Para Eq. 47:	$u_2 = 3.2(0.75) =$	2.4	m/s

Freqüência dos ventos

$$f(x) = \frac{n}{N} \cdot 100$$

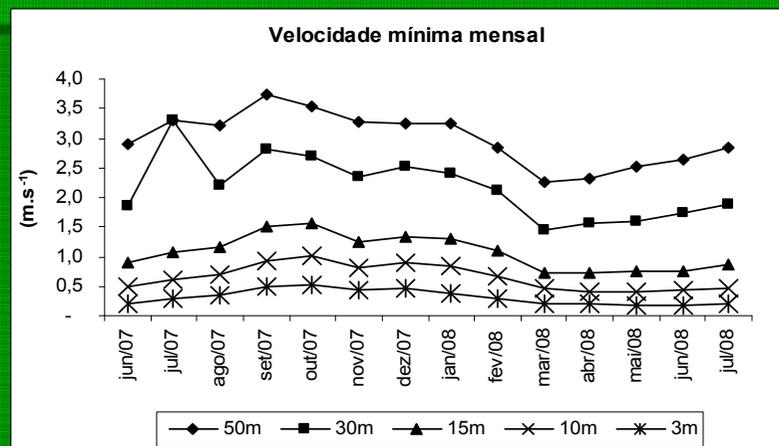
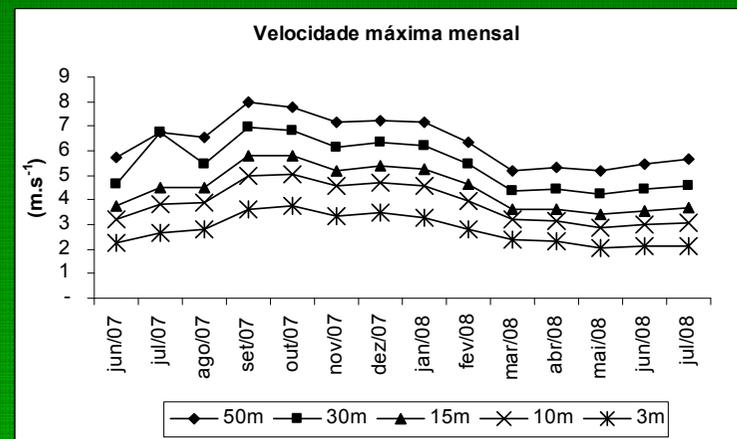
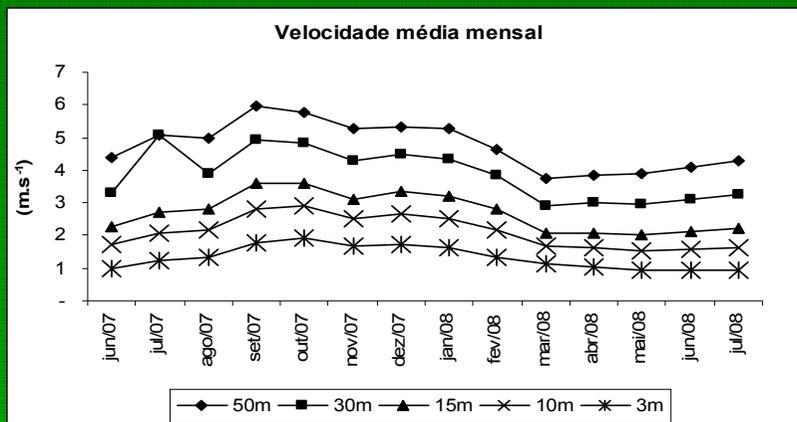
Sendo:

n: número de ocorrências em uma determinadas direção;

N: número total de ocorrências.

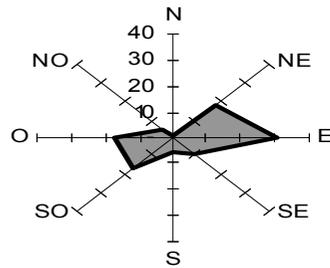
Alguns Resultados

VELOCIDADE MENSAL DOS VENTOS:

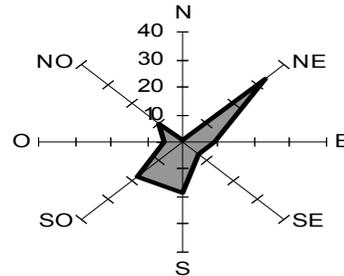


Direção do período

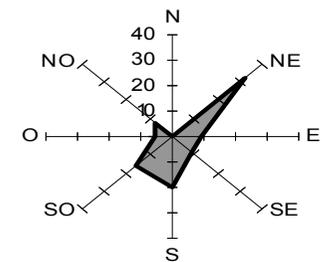
Frequência a 50m



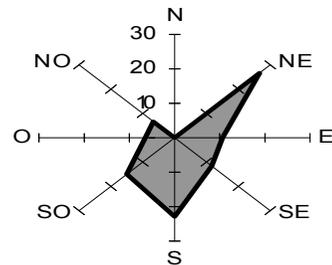
Frequência a 30m



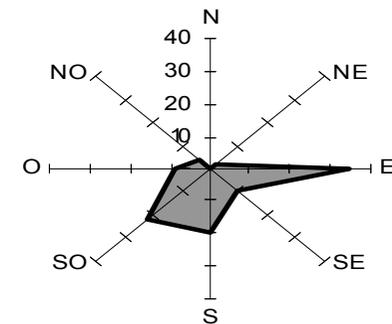
Frequência a 15m



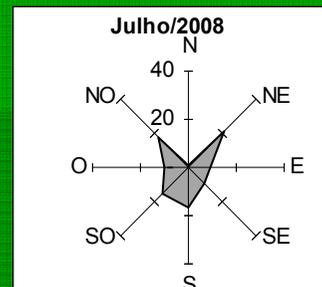
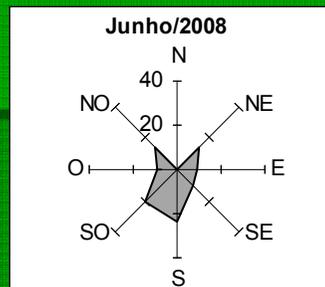
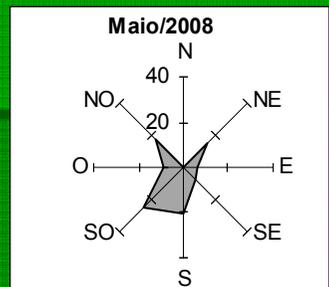
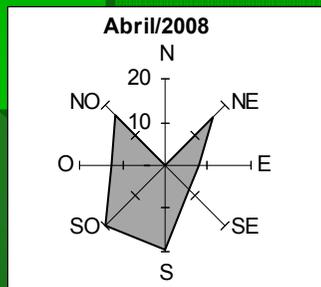
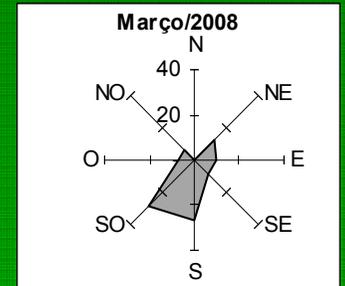
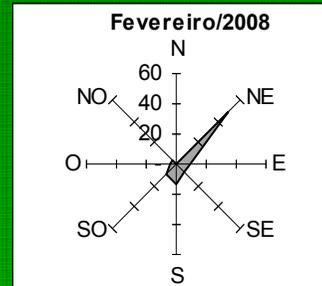
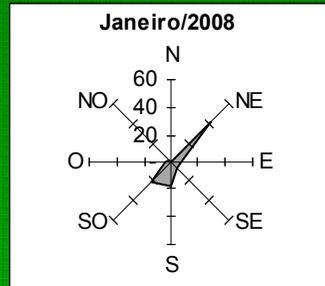
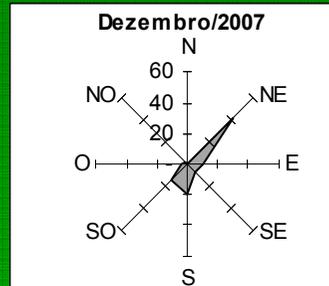
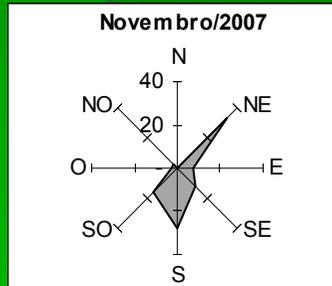
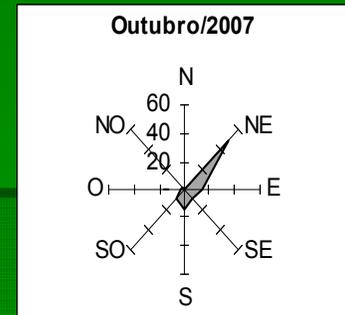
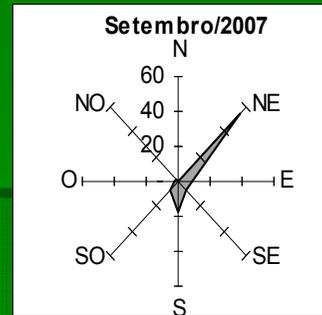
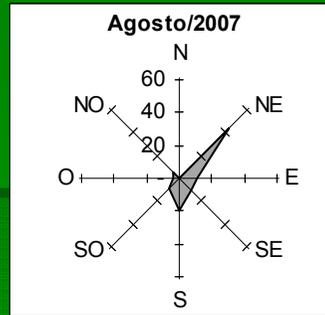
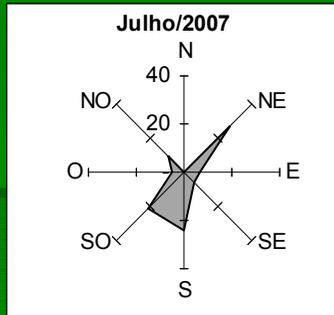
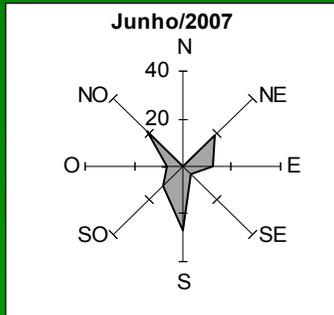
Frequência a 10m



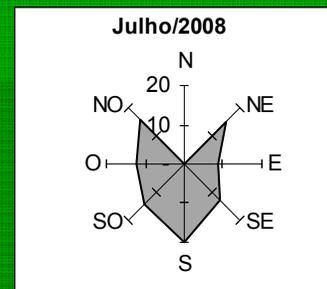
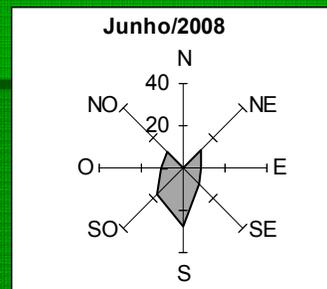
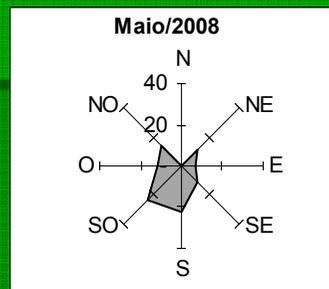
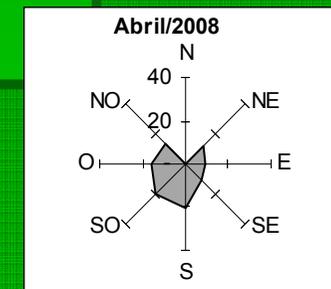
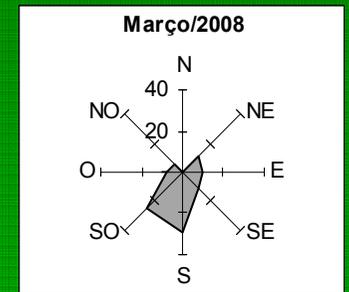
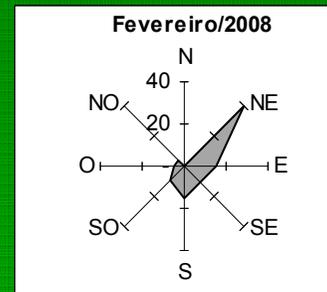
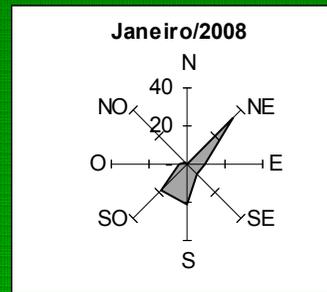
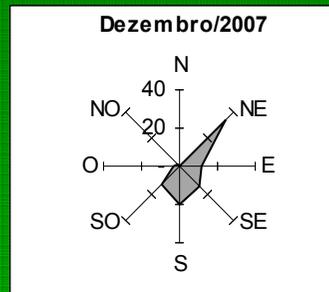
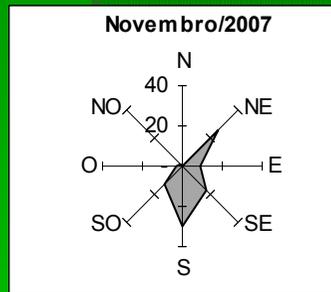
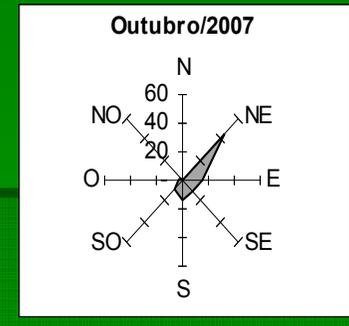
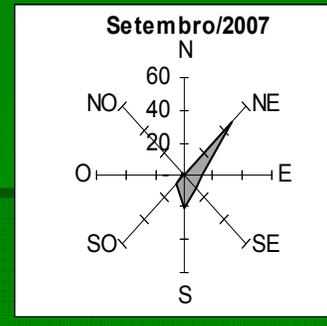
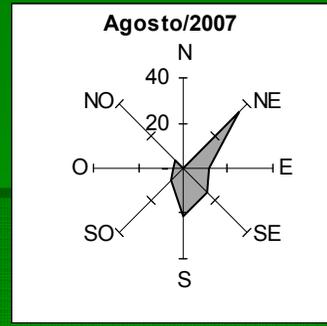
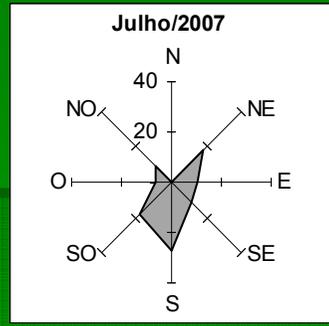
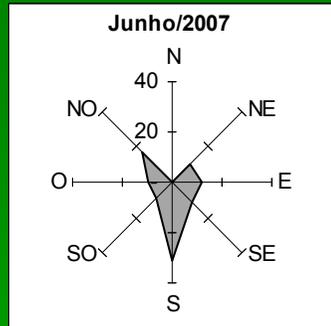
Frequência a 3m



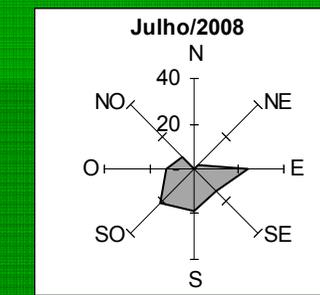
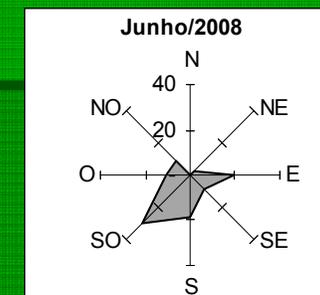
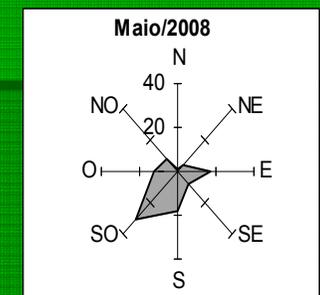
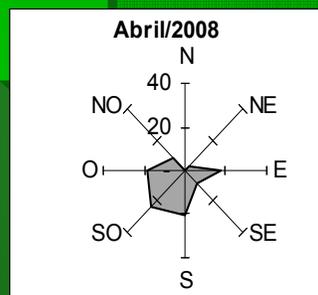
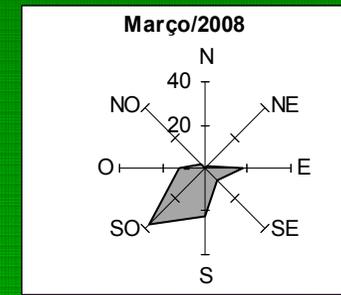
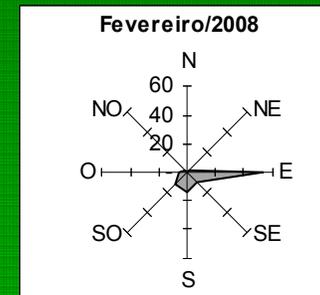
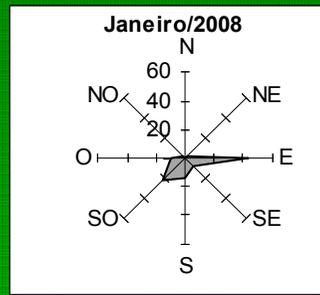
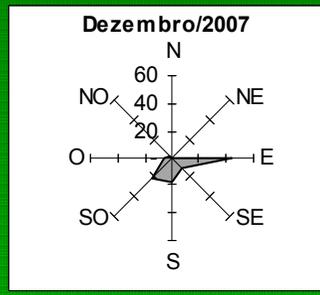
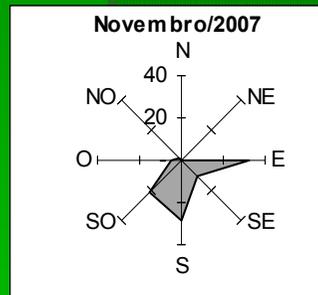
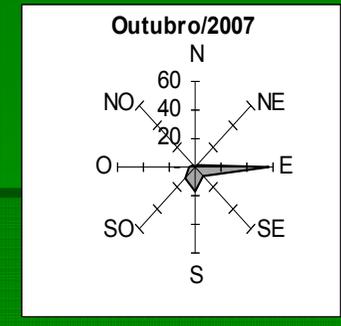
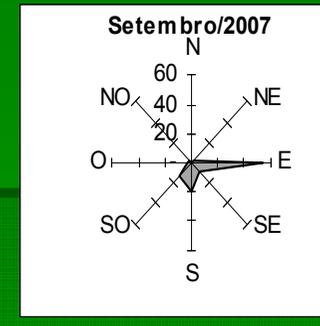
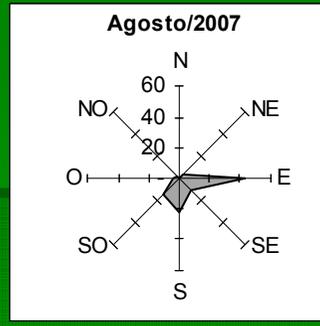
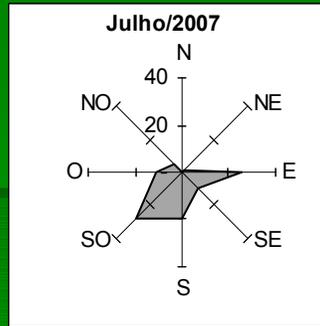
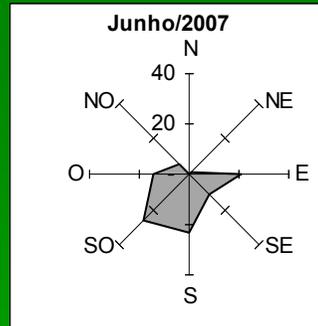
Rosa dos ventos a 15 m



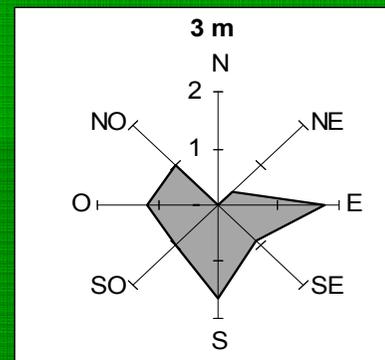
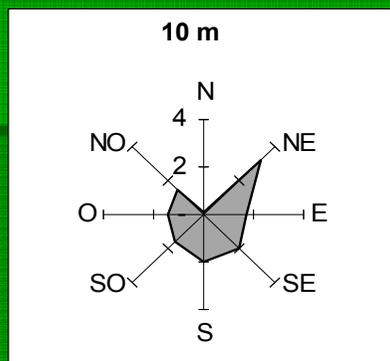
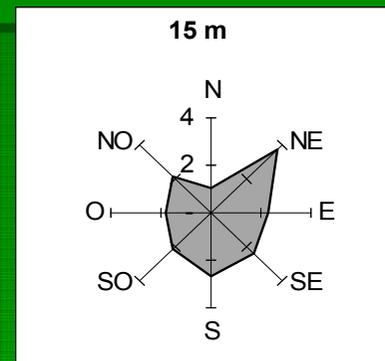
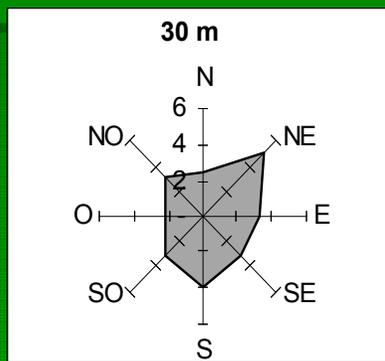
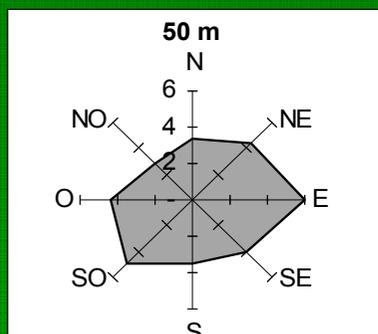
Rosa dos ventos a 10 m



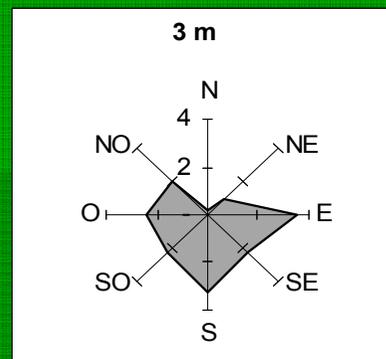
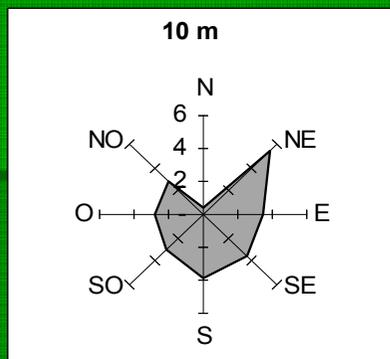
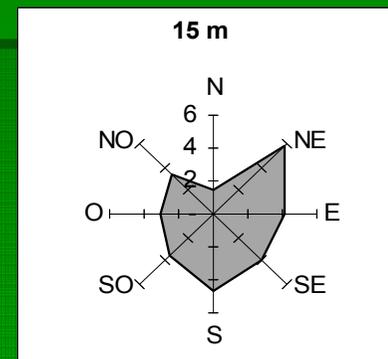
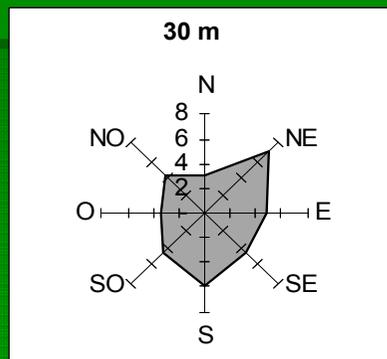
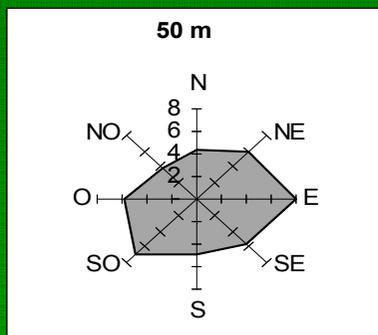
Rosa dos ventos a 10 m



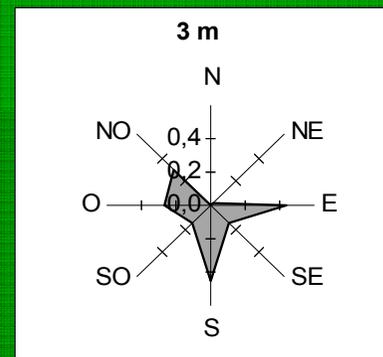
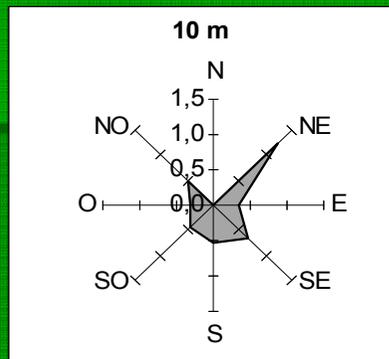
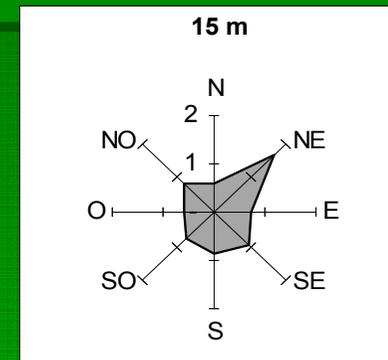
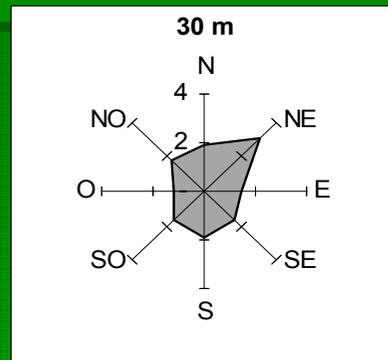
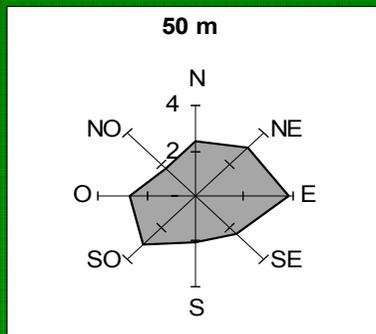
DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA NO PERÍODO DE ESTUDO



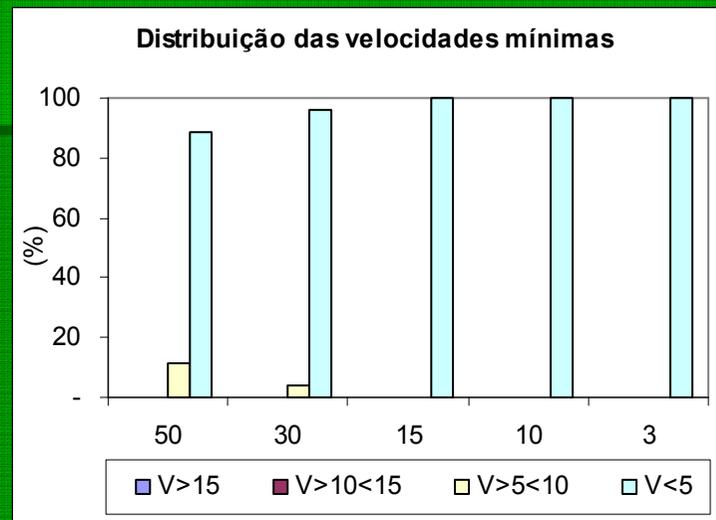
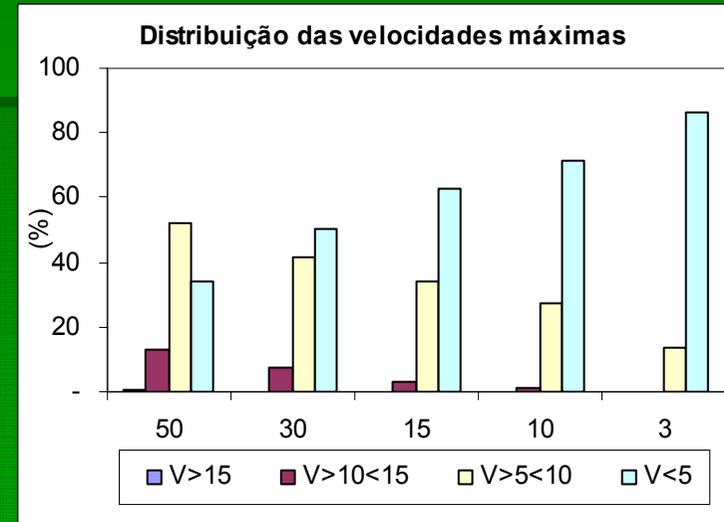
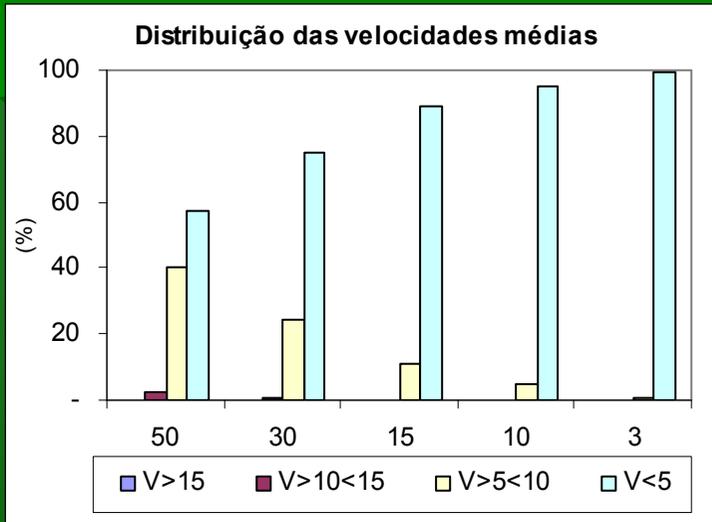
DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA NO PERÍODO DE ESTUDO



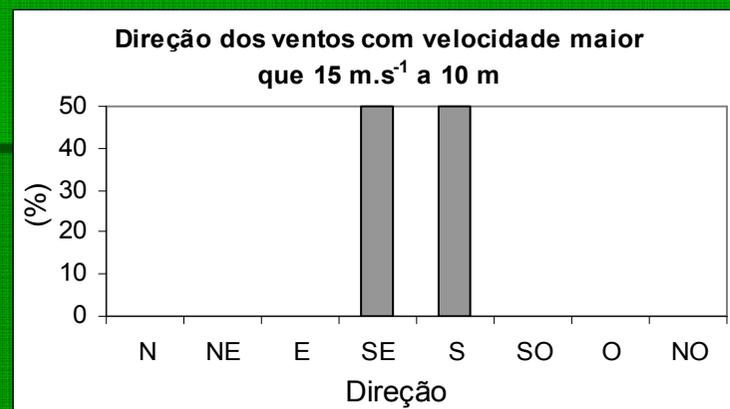
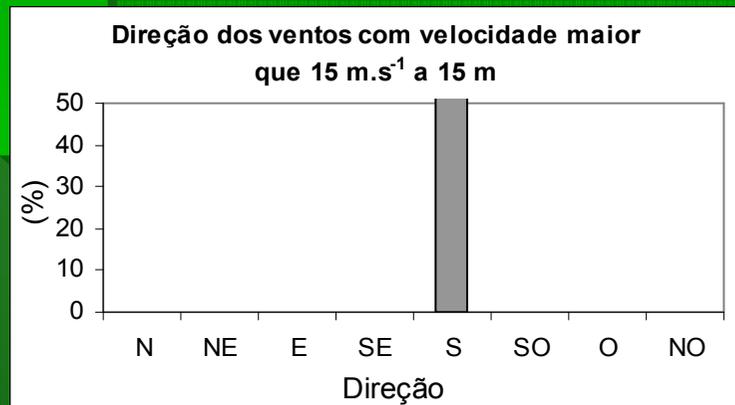
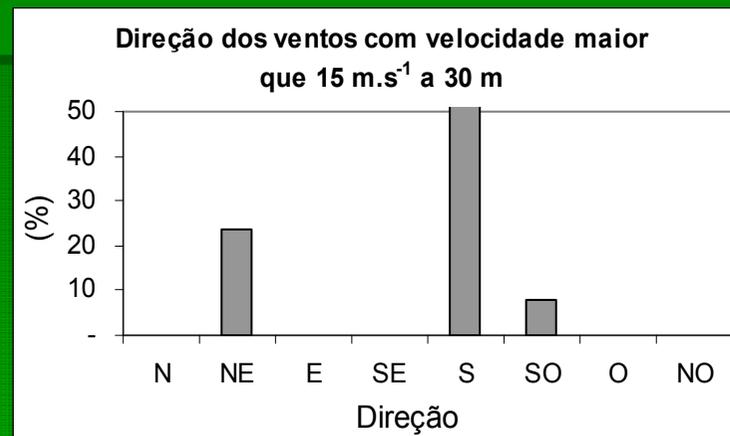
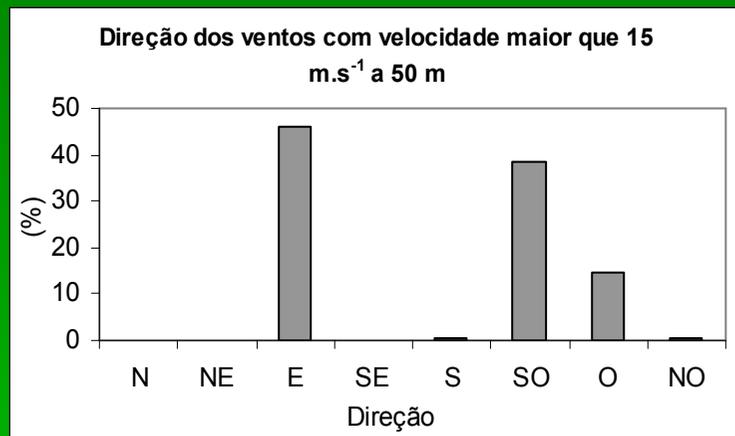
DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA NO PERÍODO DE ESTUDO

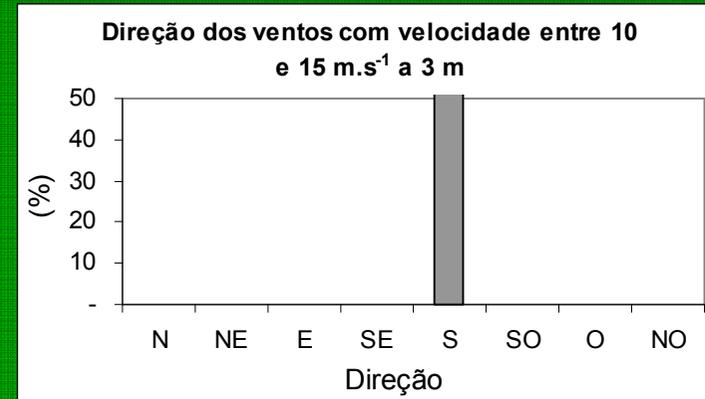
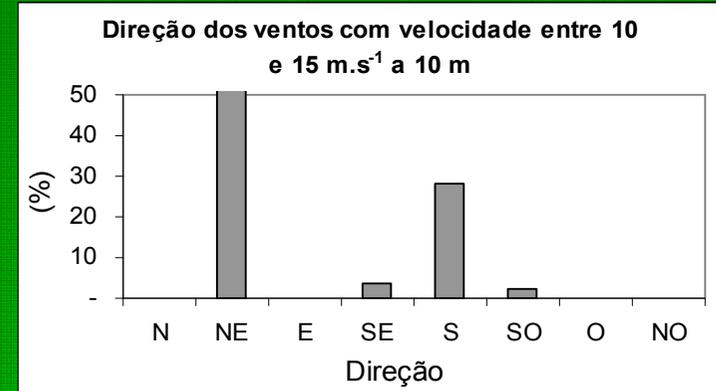
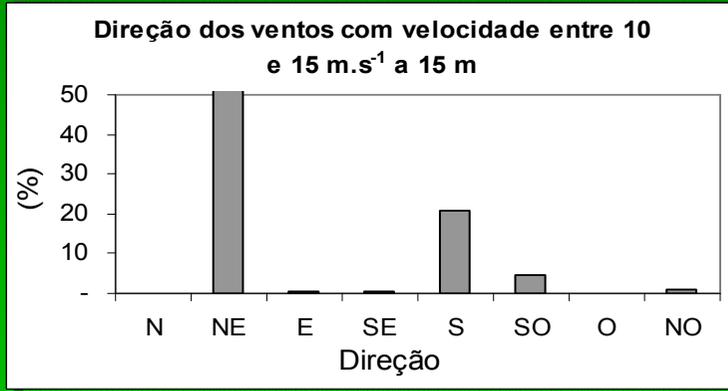
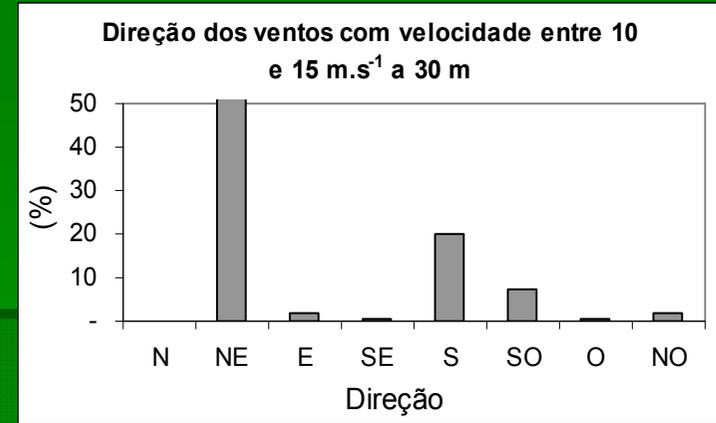
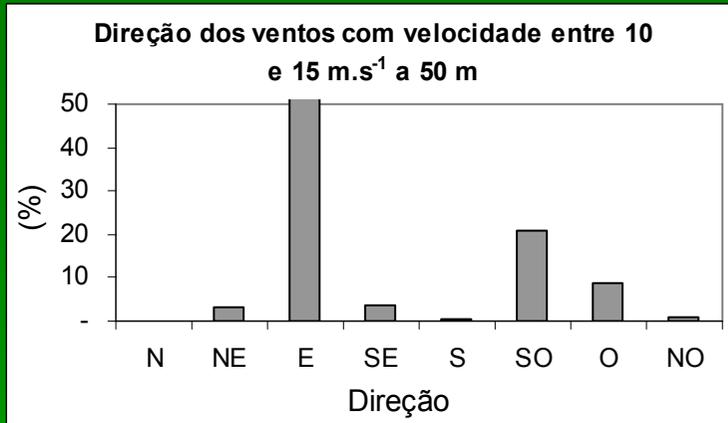


DISTRIBUIÇÃO DAS VELOCIDADES NO PERÍODO DE ESTUDO

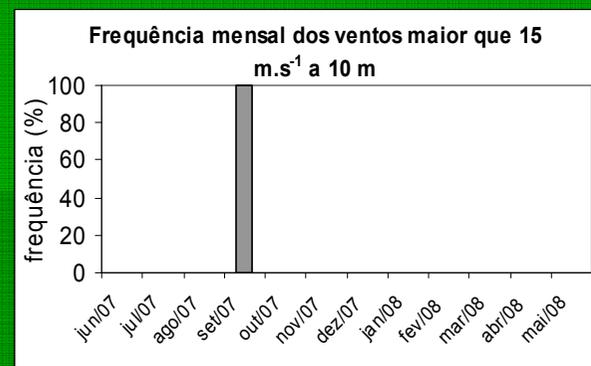
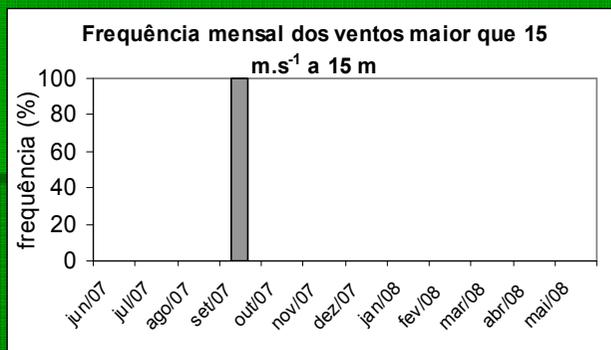
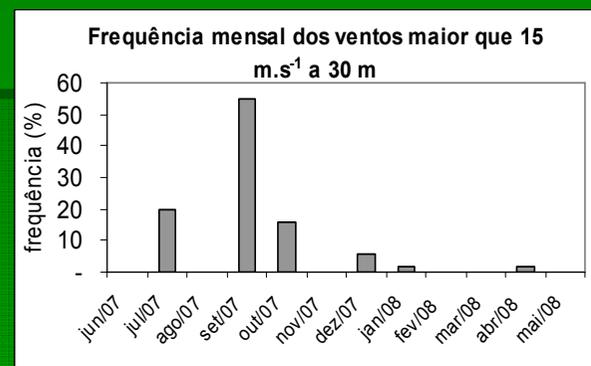
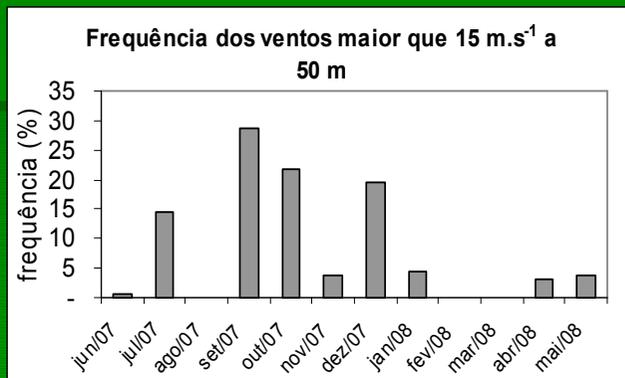


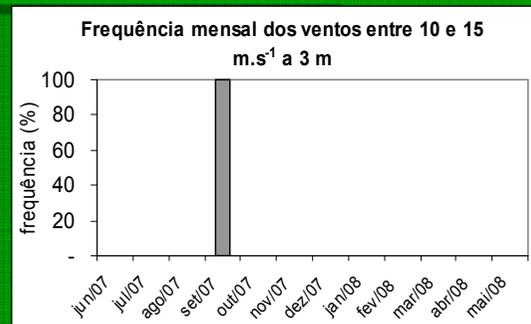
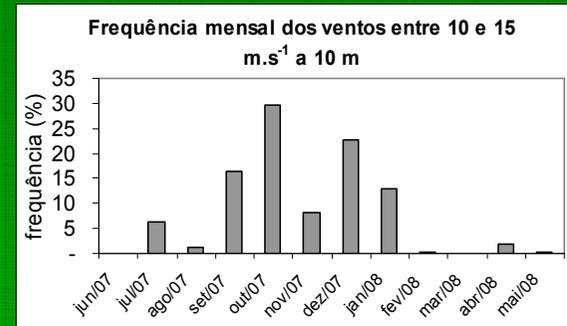
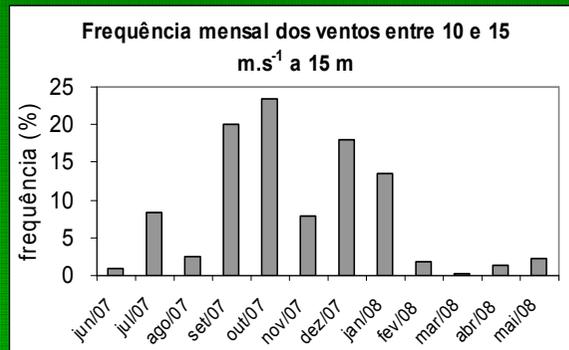
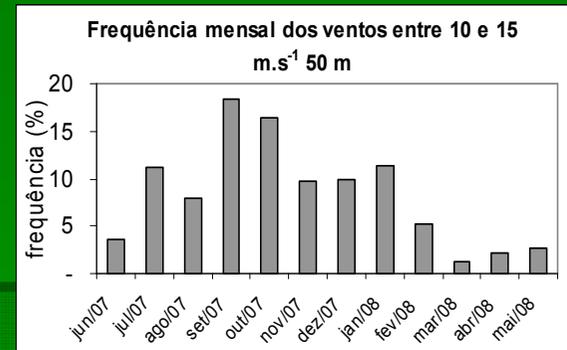
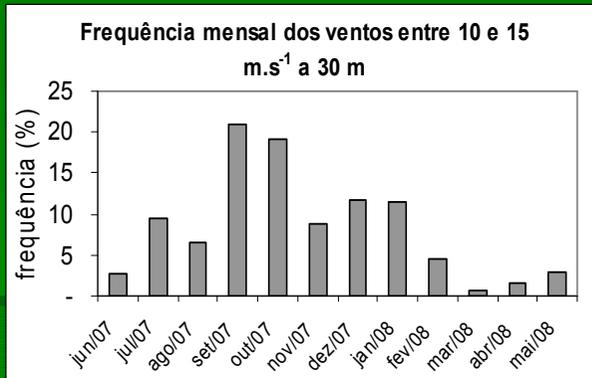
DIREÇÃO DOS PICOS MÁXIMOS NO PERÍODO DE ESTUDO



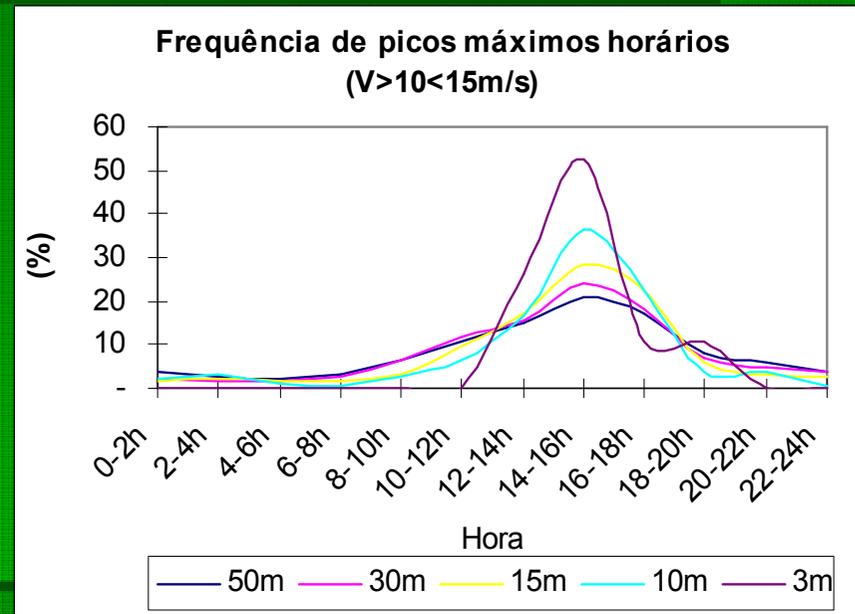
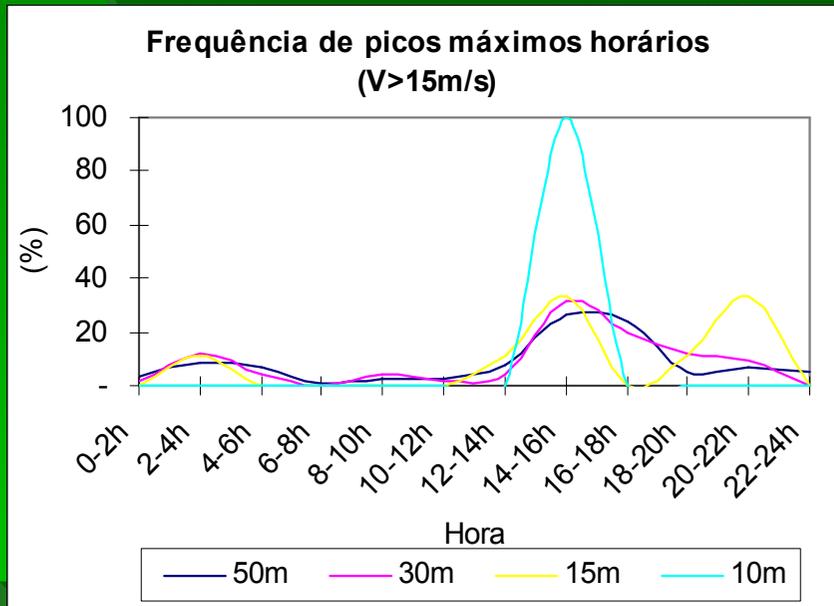


DISTRIBUIÇÃO MENSAL DOS PICOS MÁXIMOS

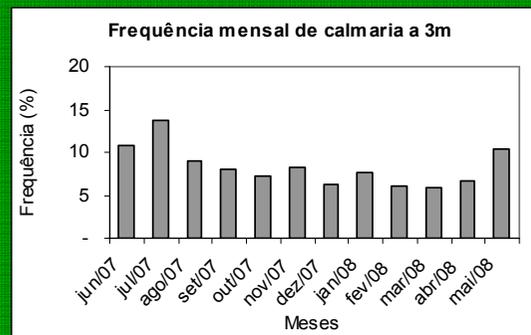
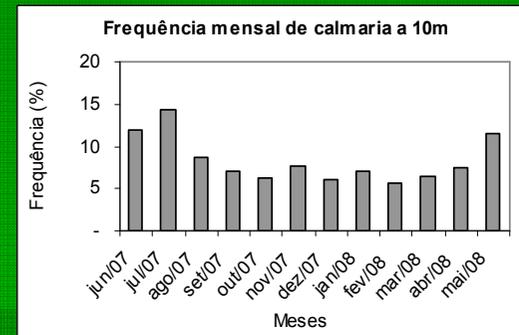
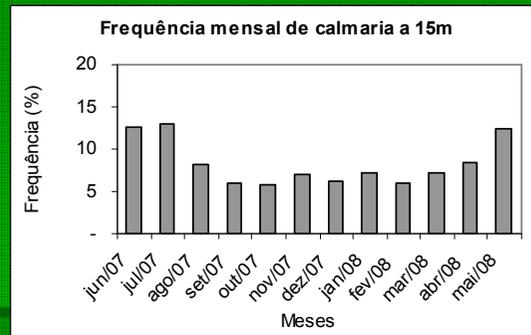
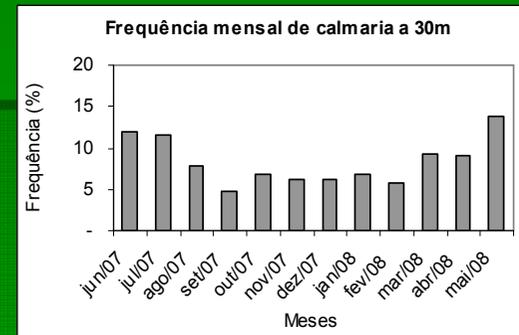
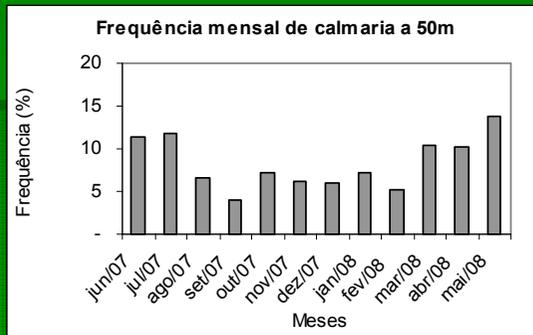




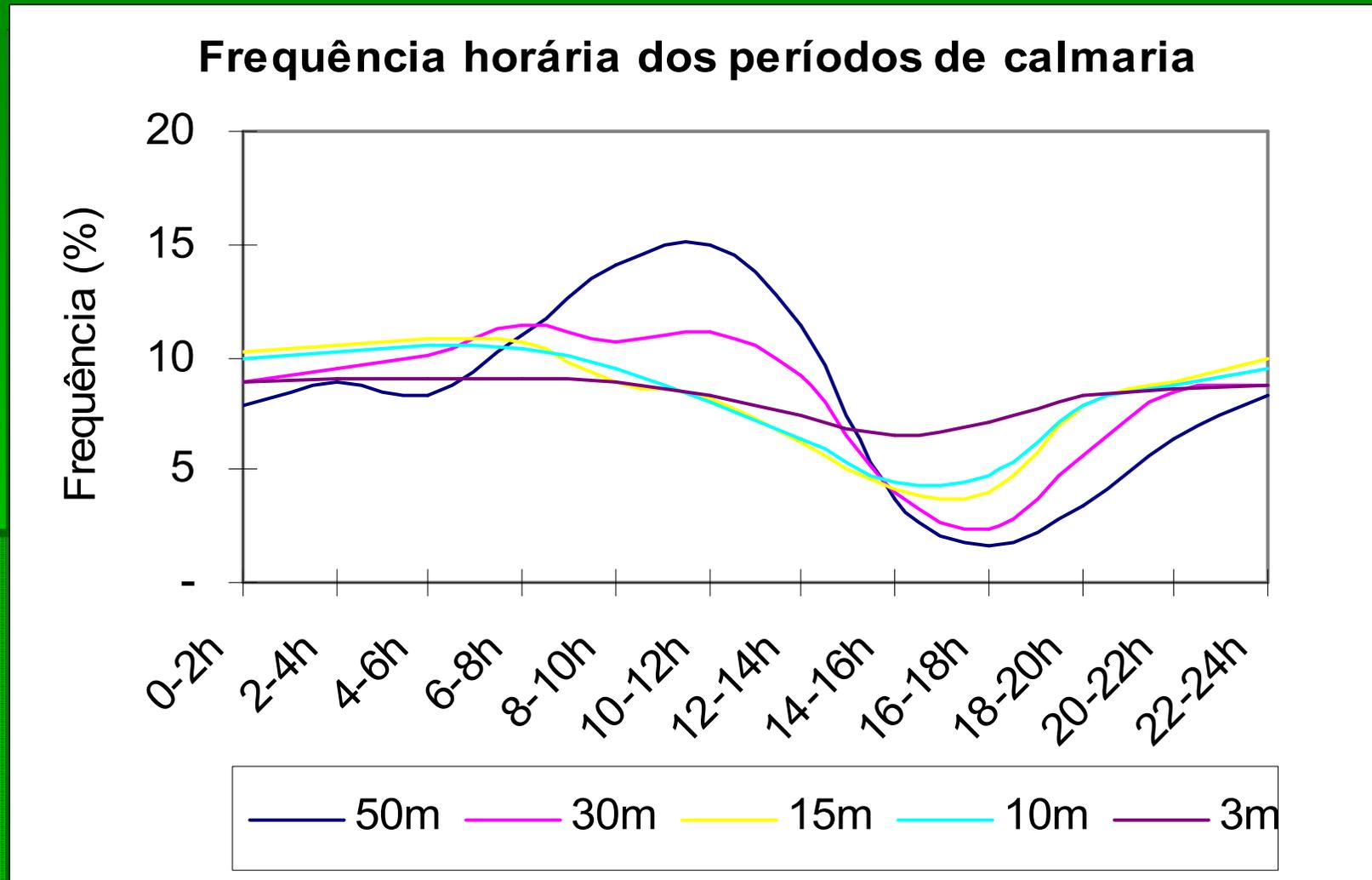
FREQÜÊNCIA HORÁRIA DOS PICOS MÁXIMOS



CARACTERIZAÇÃO DOS PERÍODOS DE CALMARIA



FREQÜÊNCIA HORÁRIA DOS PERÍODOS DE CALMARIA



Algumas Conclusões

- A velocidade do vento varia de acordo com a altura de monitoramento. Quanto maior a altura maior a velocidade.
- A velocidade máxima em nenhum momento foi inferior a 5 m.s^{-1} .
- A direção predominante do vento é leste a 50 e a 3 m de altura, a 30, 15 e 10 m a direção nordeste é a predominante.
- Os ventos com maior velocidade são os que apresentam maior frequência.
- Os meses de setembro a novembro são os que possuem maior velocidade do vento.

Torre Anemométrica - Macaé



- Altura: 25 m
- Níveis de monitoramento:
 - Velocidade e Direção do Vento:
3, 6, 12, 15 e 25 m;
 - Temperatura e Umidade Relativa do Ar:
3, 6, 12 e 25 m
- Frequência de informações:
 - Valores médios, máximos e mínimos a cada 15 min
 - Registros em arquivos . DAT
 - Visualização em tempo real!
(a cada 10")

Dados Técnicos:

- Anemômetro sônico 2D:
(Mod WAS-L2D
Gill Instruments LTDA)
- Anemômetros de hélice:
(RM YOUNG MARINIZADO – MOD 05106)
- Sondas de Tar e Ur(%):
(HMP45-C – VAISALLA)



Dados Técnicos:

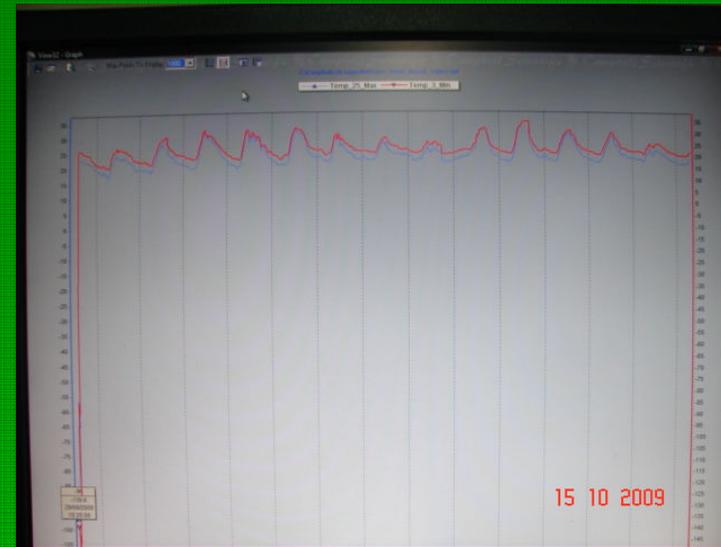
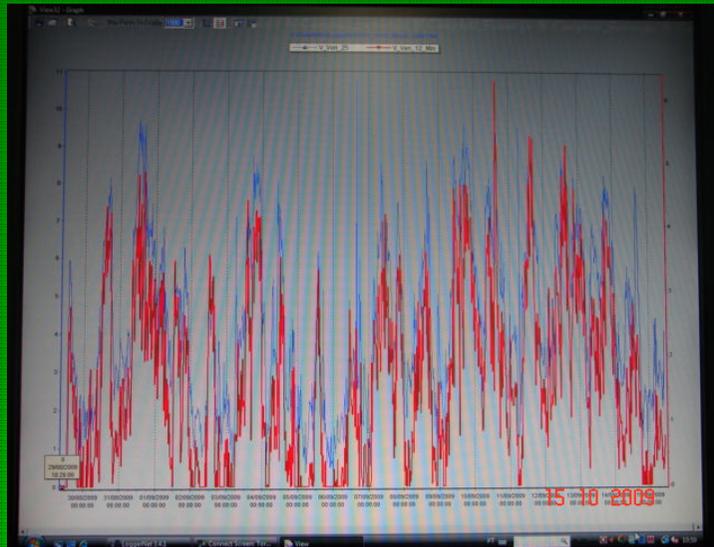
Transmissão “Ponto a Ponto”



Transmissão “Ponto a Ponto”



OS DADOS EM TEMPO REAL



+					
-	V_Ven_25	4,64	Temp_25	21,44	
-	V_Ven_15	3,90	Temp_12	21,85	
-	V_Ven_12	3,29	Temp_6	22,02	
-	V_Ven_6	0,00	Temp_3	22,15	
-	V_Ven_3	0,00			
			Umid_25	79,62	
	D_Ven_25	214,00	Umid_12	78,47	
	D_Ven_15	228,26	Umid_6	78,50	
	D_Ven_12	219,20	Umid_3	78,27	
	D_Ven_6	211,14			
	D_Ven_3	217,27	BattV	13,57	
			Temp_Int	23,96	
				0,00	

Connect Screen: Tera, Tera, Malar CR1000

File - View - Database - Tools - Help

Stations

Data Collection

Collect Now - Continue

Program

level_1.DPI

Send - Refresh

Data Displays

Graphs 1 2 3

Tasks

Save Date/Time 15/10/2009 11:03:02

Refresh Date/Time 15/10/2009 11:03:19

LoggerNet 3.4.1

File - Tools - Options - Help

15 10 2009



22 8 2009



22 8 2009

Na distribuição densidade de probabilidade de Weibull os dois parâmetros (“k” e “c”) para a velocidade do vento (V) é fornecida pela equação:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k}$$

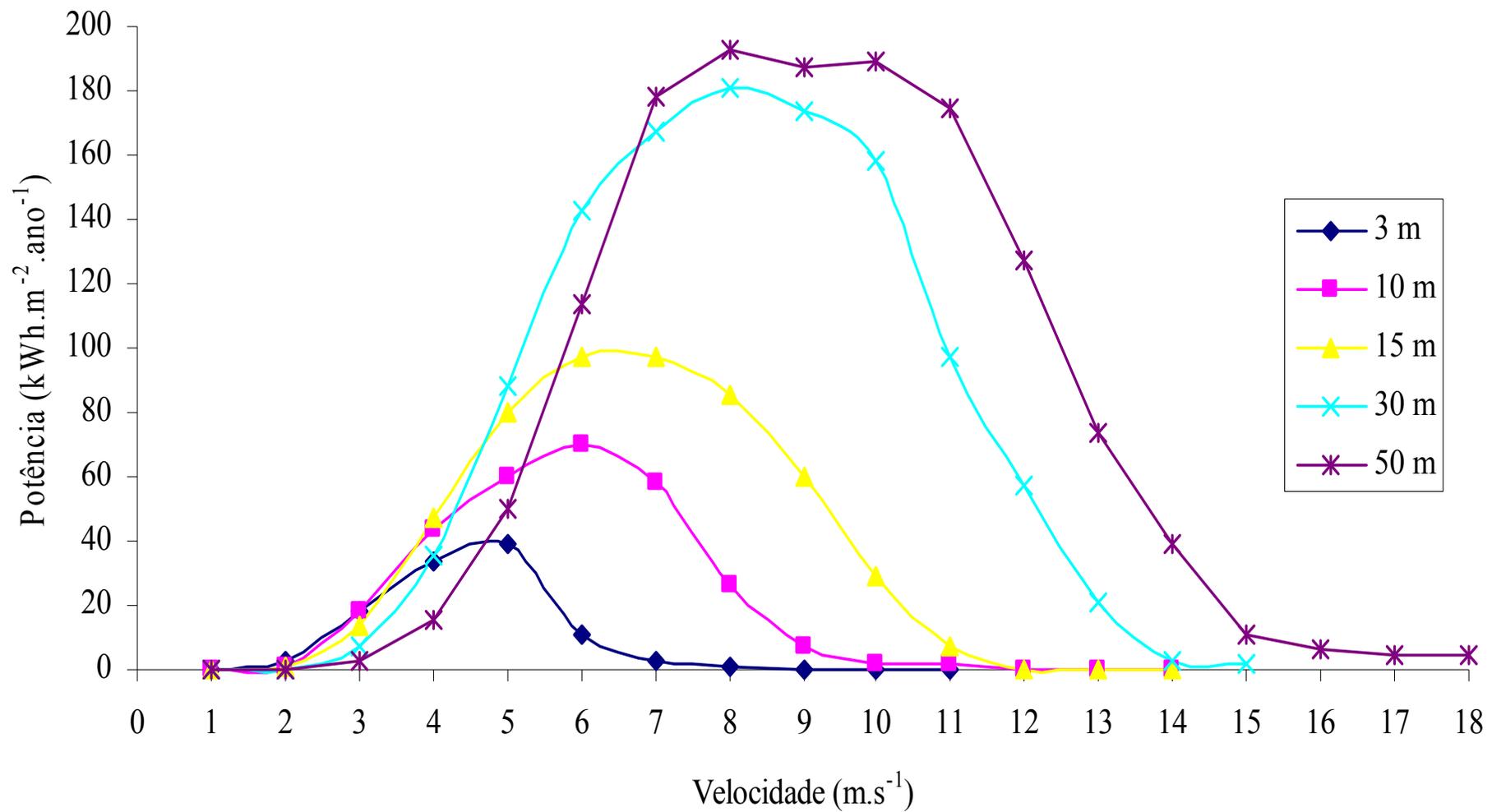
A função densidade de probabilidade acumulada de Weibull é obtida por:

$$f(V) = 1 - \exp^{-cv^k}$$

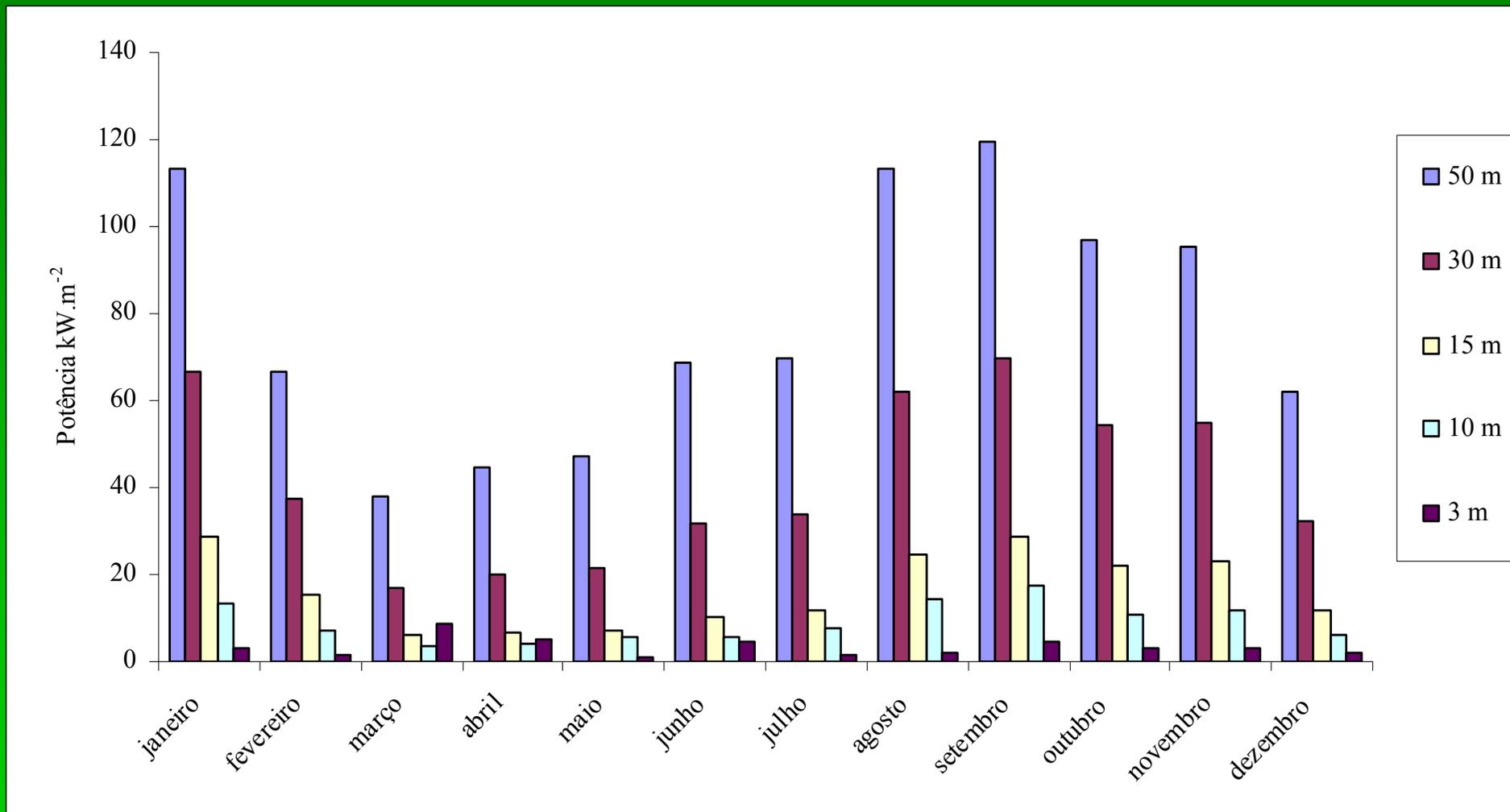
Para o calculo da densidade de potência do fluxo de ar através de uma unidade de área normal ao fluxo é obtida por:

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Densidade de potência anual em kWh gerada por m² em cinco níveis de altura em Campos dos Goytacazes, RJ



Variação sazonal da potência disponível do vento em 5 níveis de altura em Campos dos Goytacazes, RJ



ESTADO DO RIO DE JANEIRO POTENCIAL EÓLICO



ROSA-DOS-VENTOS ANUAL VELOCIDADES A 50 m x DIREÇÃO

Modelo Atmosférico resultante do MesoMAP (TrueWind Solutions, LLC), calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálise (NCAR) representativos para um período de 15 anos.
Mapa de rosa-dos-ventos sobreposto ao relevo sombreado, para ilustrar influencias orográficas.

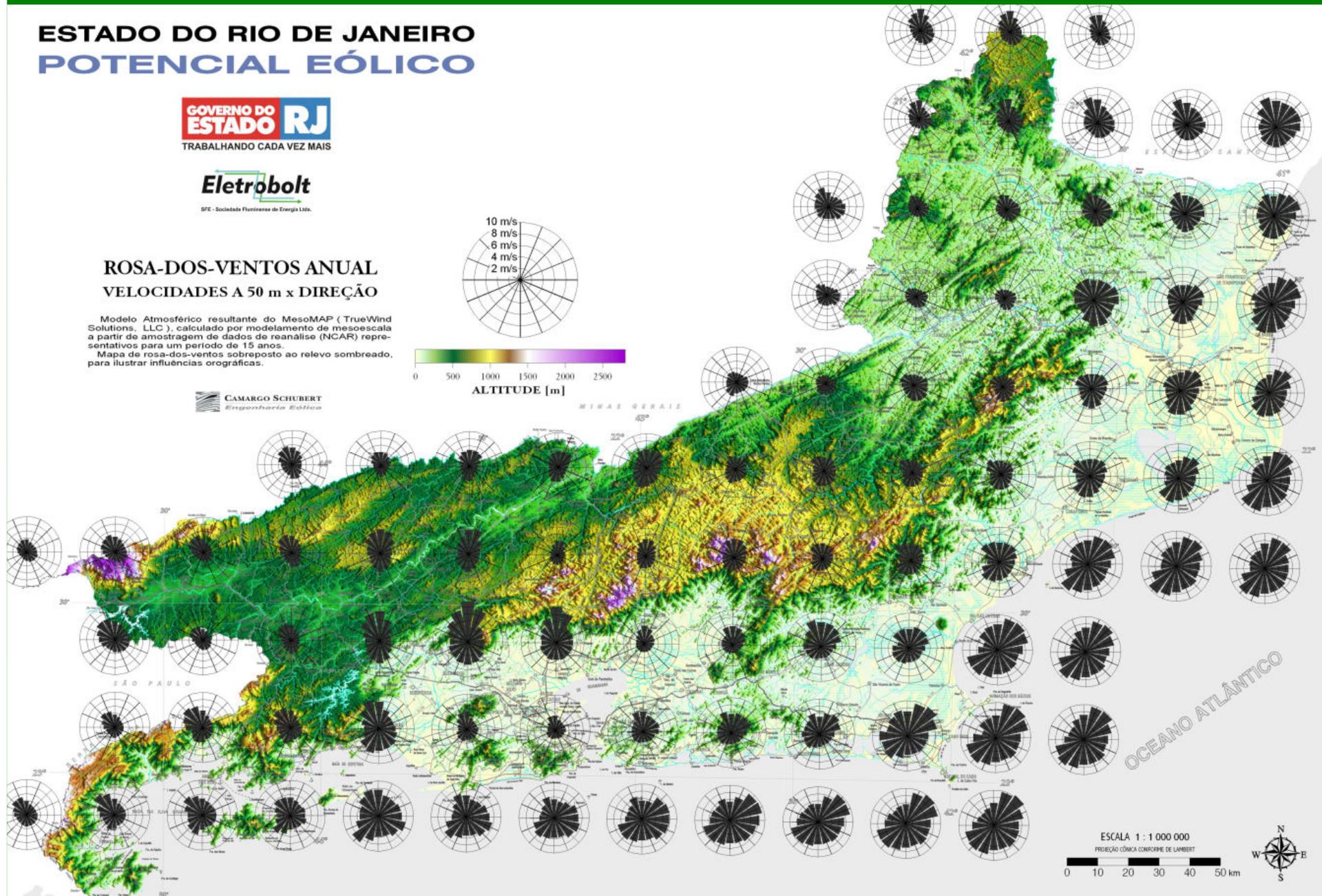
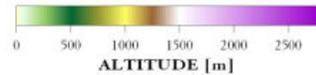
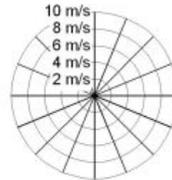


Tabela 4: Intervalos de direção do vento, em graus (°).

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
337,5	22,5	67,5	112,5	157,5	202,5	247,5	292,5
22,4	67,4	112,4	157,4	202,4	247,4	292,4	337,4