

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DO REGIME DOS VENTOS NO ESTADO DO PARANÁ

Deise Fabiana ELY¹

Livia Maria Pederzini PEREIRA²

Resumo

O objetivo deste trabalho foi contribuir para o estudo do regime dos ventos no Estado do Paraná. Os dados analisados referem-se a 16 estações meteorológicas de primeira classe, pertencentes ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). A partir de tais dados foram determinadas a direção predominante dos ventos, as velocidades médias diárias, mensais e anuais, a frequência relativa, a distribuição da frequência relativa acumulada, distribuição estatística de valores extremos e os valores de picos máximos para períodos mensais e anuais de cada estação. Com os resultados dessas análises foi possível correlacionar a dinâmica dos ventos com a revisão bibliográfica sobre a dinâmica atmosférica predominante no estado, onde ocorrem ventos com maiores velocidades médias no outono e na primavera.

Palavras- chave: Ventos. Direções e velocidades. Paraná.

Abstract

Contribution to the study of the winds regime in the state of Paraná, Brazil

This paper aims to contribute to the study of wind regime in the state of Paraná, Brazil. The data analyzed were collected from 16 first class weather stations belonging to the network of Agronomical Institute of Paraná (IAPAR). Those data were used to determine the predominant wind direction, the daily, monthly and yearly medium velocities, the relative frequency, the distribution of the accumulated relative frequency, the statistic distribution of the extreme values and wind gusts for monthly and yearly periods for each one of the weather stations. The results of this analysis made it possible to correlate winds dynamical with bibliographical review about predominant atmospheric dynamical in the Paraná, where occur winds with great velocities during the fall and the spring.

Key words: Winds. Directions and velocities. Paraná.

¹ Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Professora. E-mail: deise.ely@gmail.com

² Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Estudante. Campus Universitário - Cx. Postal 6001 - CEP 86051-990 - Londrina-PR. E-mail: livia_mpp@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O vento desempenha um grande papel na definição climática em todas as escalas e o conhecimento do seu regime, considerando as características da velocidade e das direções predominantes dos ventos, sobre uma determinada região é fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades, podendo ser destacadas a implantação de quebra-ventos, instalação de indústrias, fluxos de poluentes, conforto térmico, disseminação de focos de incêndio e aproveitamento eólico.

Na agricultura, por exemplo, o vento está diretamente associado ao crescimento e desenvolvimento das plantas, pois constitui um componente da produtividade vegetal, contribuindo para o transporte de umidade e calor na atmosfera e deve ser levado em consideração no planejamento das operações agrícolas e no desenvolvimento agrícola em geral.

O vento também pode consistir em risco para a agricultura, pois reduz o potencial produtivo dos cultivos quando ocorre acima de determinados limites característicos do nível de tolerância de cada espécie. A ocorrência de ventos com alta velocidade age mecanicamente sobre as plantas e pode ocasionar danos físicos às culturas por meio da agitação das árvores, dos galhos e, conseqüentemente, queda das folhas, flores e frutos, propiciando o ingresso de vírus, fungos e bactérias nos locais afetados por quebras, além de diminuição da eficiência fotossintética (OMETTO; CARAMORI, 1981 *apud* VOLPE; SCHOFFEL, 2001). E, ainda, pode favorecer um alto índice de transpiração e o conseqüente ressecamento da planta, bem como a erosão do solo.

Por outro lado, a ocorrência de um longo período de calmaria, acompanhado de incidência de radiação, pode provocar acamamento e mortandade das plantas. Desta forma, em áreas de agricultura, o ideal seria a ocorrência de ventos moderados que, considerando velocidades variáveis para cada espécie de cultivo, seriam de $1,4\text{ms}^{-1}$ a $1,6\text{ms}^{-1}$. (VOLPE; SCHOFFEL, 2001)

Cada cultura tem uma velocidade do vento ótima para seu desenvolvimento. De acordo com Volpe e Schoffel (2001), no Estado de São Paulo, os danos provocados pelo vento têm sido um dos maiores fatores na queda da produção de bananas, com perdas de 20 a 25% e, também, foi constatado que velocidades do vento a partir de $5,6\text{ms}^{-1}$ sobre as bananeiras provocam danos às folhas.

Segundo Raeuber e Engels (1966, *apud* Ometto, 1981), a velocidade do vento mais favorável ao desenvolvimento do milho é $1,0\text{ms}^{-1}$, sendo que entre 4ms^{-1} e 8ms^{-1} o crescimento da planta diminui em 50% e acima de 11ms^{-1} cessa completamente.

Experimentos com plantas individuais de café mostraram que velocidades do vento acima de 2ms^{-1} e 3ms^{-1} prejudicavam o crescimento das mesmas. (CARAMORI et al., 1986)

Uma avaliação precisa do potencial de ventos para um determinado local também é fundamental para o aproveitamento desse recurso como fonte de energia, tendo como requisito básico a existência de uma série temporal de observações da velocidade e direção dos ventos em uma altura adequada.

A velocidade média mínima dos ventos que permite a utilização de aero geradores dependerá de sua aplicação e das características dos mesmos. Geralmente, para aplicações em larga escala, com máquinas de grande porte, são requeridas velocidades médias dos ventos de, no mínimo, $6,5\text{ms}^{-1}$ a $7,5\text{ms}^{-1}$.

Para a sua utilização em sistemas isolados pequenos, incluindo os sistemas mecânicos para bombeamento de água, assume-se uma média de $3,5\text{ms}^{-1}$ a $4,5\text{ms}^{-1}$. Estes valores consideram tanto a viabilidade técnica quanto econômica da implantação dos aero geradores. (CRESESB, 2001)

Diante do exposto, têm-se como objetivos principais para o presente trabalho caracterizar o regime de ventos no estado do Paraná, enfatizando a velocidade média predomi-

nante em cada região e época do ano, o pico máximo, bem como determinar as direções predominantes dos ventos em escala mensal, zonal e anual com a finalidade de otimizar o desenvolvimento agrícola e o aproveitamento energético, além de determinar a frequência de ocorrência de ventos extremos que causam prejuízos à agricultura e danos às propriedades.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CONTROLES CLIMÁTICOS

O Estado do Paraná está localizado na região sul do Brasil (figura 1), com uma extensão territorial de 199.314,85 km² que abrange as latitudes 22° a 27°S e longitudes de 48° a 55°W, sendo que o Trópico de Capricórnio atravessa o norte do estado.

As linhas orográficas e os sistemas hidrográficos delimitam as paisagens naturais do Paraná e Maack (2002) as classificou em cinco regiões, do leste para o oeste: o litoral; a serra do mar, constituída por um complicado tectonismo de falhas e zonas de maiores elevações das rochas cristalinas, formando uma serra marginal que delimita o primeiro planalto e a planície litorânea; o primeiro planalto ou planalto de Curitiba que se estende entre a serra do Mar e a escarpa devoniana. O segundo planalto ou planalto de Ponta Grossa, cuja limitação entre o primeiro e segundo planalto é feita por uma linha de escarpa ou *cuesta*, a escarpa devoniana e o terceiro planalto ou planalto de *trapp* do Paraná ou de Guarapuava composto por latossolos roxos e vermelhos escuros e relevo levemente ondulado a aplainado (Figura 3).

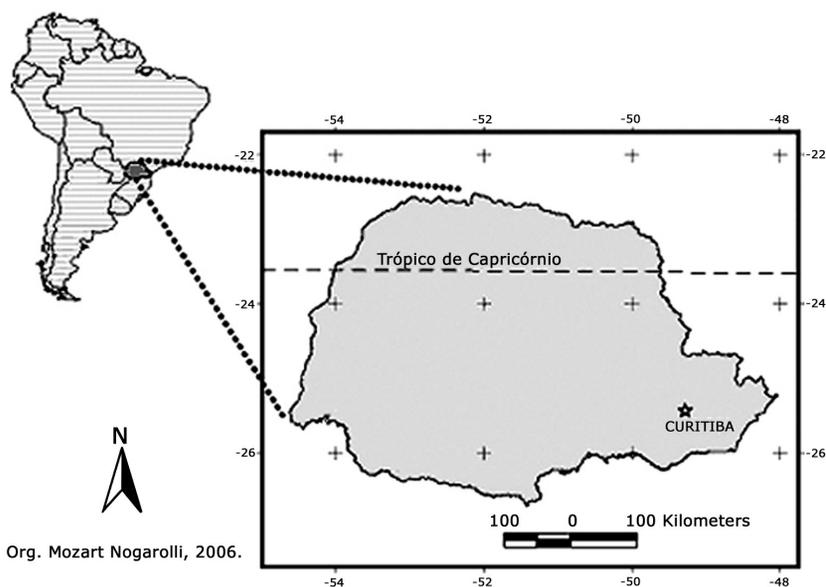


Figura 1 - Localização do Estado do Paraná

Fonte: NOGAROLLI (2007, p. 4).

A temperatura média no estado varia de acordo com as latitudes e, principalmente, com as altitudes, pois no noroeste do estado onde predominam altitudes entre 100 e 500m a temperatura média anual é de 24°C, enquanto que no centro e no sul, onde as altitudes ultrapassam os 1.000m, as temperaturas médias anuais são de 19°C e 15°C, respectivamente. (IAPAR, 2000)

Correlacionada a tais padrões térmicos, a evapotranspiração média anual é 1.200 a 1.600mm no norte e noroeste do estado, atingindo valores médios de 700 a 800mm no litoral. Vale ressaltar que a ocorrência de ventos fortes influencia negativamente na evapotranspiração, pois favorecem um alto índice de transpiração e consequente ressecamento das plantas.

Em relação à média pluviométrica anual, o norte e noroeste paranaense apresentam precipitações médias de 1.200 a 1.400mm, enquanto que o litoral e o sudoeste do estado apresentam médias anuais entre 2.000 a 3.500mm. (IAPAR, 2000)

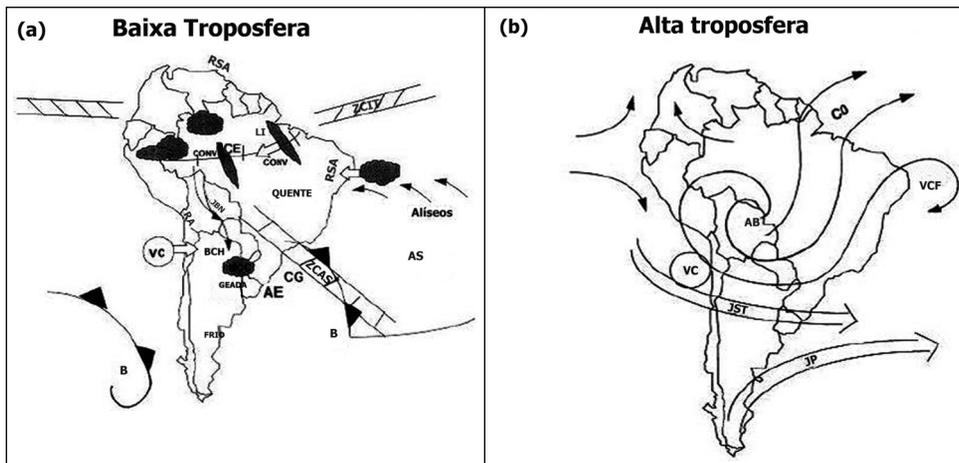
Conforme Boin (2000, p. 53 – 55) a disposição da hidrografia no estado contribui para a distribuição pluviométrica. Verifica-se um aumento da pluviosidade média de norte para o sul, com valores que vão de 1.400 a 1.700 mm, justamente sobre a Serra Geral onde as cotas altimétricas variam de 800 até 1.800m.

A hidrografia do estado é composta por 11 bacias hidrográficas principais, sendo que a maior delas é a bacia do Paraná, tendo como seus principais afluentes os rios: Iguaçú, Paranapanema, Tibagi, Ivaí e Piquiri. Os vales dos rios Tibagi e Paranapanema contribuem para o deslocamento das frentes frias e da massa Polar em direção às latitudes menores, situação que ocorre principalmente no verão, quando os anticiclones polares, de pressão mais baixa do que no inverno, circulam com umidade em altitudes mais elevadas. No inverno, quando há um maior número de anticiclones polares, com pressões mais elevadas, a umidade associada ao deslocamento das frentes frias circula em menor altitude e precipita em baixas cotas altimétricas. (BOIN, 2000, p. 53 - 55)

Além da massa Polar Atlântica (originária do anticiclone migratório polar), o estado do Paraná tem seu clima controlado pelas incursões das massas Tropical Atlântica (originária do anticiclone semi-fixo do Atlântico), Tropical Continental (originária da Depressão do Chaco) e Equatorial continental (caracterizada sobre a baixa da Amazônia).

Conforme Mendonça (1994, p.102) tais massas de ar contribuem para a variação térmica anual do Brasil Meridional e, por conseguinte, do Paraná. Os sistemas intertropicais (mTa, mEc e mTc) atuam sobre o seu aquecimento, enquanto que o extra-tropical (mPa) no seu resfriamento. No transcorrer sazonal os confrontos entre esses sistemas produzem uma grande variação barométrica e que podem desencadear episódios de fortes ventos, pois além dessa característica, outros mecanismos atmosféricos atuam no estado; como pode ser observado na figura 3.

Nas figuras 2a e 2b verifica-se que a baixa atmosfera sobre o estado do Paraná é bastante dinâmica com a atuação das frentes frias, de anticiclones extratropicais, da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS), dos jatos de baixos níveis e complexos convectivos de mesoescala, reforçando a afirmação de que o Paraná se configura em uma zona de confronto entre sistemas atmosféricos de diferentes porções do hemisfério sul, caracterizando-se como uma área de transição climática em que ora predomina a atuação dos sistemas tropicais ora os polares. (MONTEIRO, 1968; MENDONÇA, 1994)



LI= Linha de Instabilidade; BCH= Baixa do Chaco; JBN= Jato de Baixos Níveis; ET= Cavado Equatorial; RA= Região Árida; RSA= Região semi-árida; CCM= Complexo convectivo de mesoescala; CONV= Atividade convectiva; CG= Ciclogênese; ASAS= Alta subtropical; AE= Anticiclone extratropical; B= Centro de Baixa Pressão; VC= Vórtice Ciclônico; AB= Alta da Bolívia; CCV= Vórtice Ciclônico frio; CO= Cirrus "Outflow"; JST= Jato Subtropical; JP= Jato Polar.

Figuras 2a e 2b – Descrição esquemática das características sinóticas da circulação regional sobre a América do Sul

(Adaptado de SATYAMURTY; NOBRE; SILVA DIAS, 1998, p. 125)

Conforme as figuras 2a e 2b e as observações de Satyamurty, Nobre e Silva Dias (1998, p. 120 - 122), em geral, a circulação dos ventos na baixa atmosfera na América do Sul e, conseqüentemente sobre o Paraná, provém da região do Atlântico norte originária do centro de alta pressão subtropical que flui ao longo do oeste dos Andes, na Colômbia e no Peru, onde os ventos são bloqueados pelo declive e pela alta topografia e retornam gradualmente com direção norte e noroeste a leste das montanhas. Sobre a costa leste, os fluxos penetram o continente com ângulos e velocidades levemente diferentes nas diversas estações e têm um efeito significativo sobre a precipitação costeira. A região deprimida entre os dois anticiclones (do Atlântico e do Pacífico) conecta-se sobre o continente no cinturão latitudinal entre 15° e 40°S, constituindo uma região frontogenética. Nesta região existe uma indicação da presença de um jato de baixos níveis de direção norte (com velocidade dos ventos da ordem de 15m/s⁻¹) abaixo de 850 hPa que é responsável pelo transporte de vapor d'água e calor da Amazônia para a região do Paraguai e norte da Argentina.

As regiões do Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e o sul do Brasil experimentam os efeitos do rápido desenvolvimento dos complexos convectivos de mesoescala. Tais complexos se formam, comumente, nas primeiras horas do dia, antes do nascer do Sol e tem um ciclo de vida curto, menos que um dia. Eles são possivelmente alavancados pela brisa das montanhas associada a uma atmosfera instável. Nas proximidades da interseção do jato de baixos níveis de norte e o jato subtropical, de níveis superiores, a lâmina de instabilidade é máxima, propiciando o desencadeamento da atividade convectiva. O jato de baixos níveis fornece o transporte de umidade necessária para a formação de nuvens e precipitação em tais complexos, que se movem a leste de sua região de origem em direção ao norte da Argentina e Paraguai, afetando com chuvas intensas o sudoeste do Brasil e o Uruguai. (SATYAMURTY; NOBRE; SILVA DIAS, 1998, p. 128)

Ainda com relação aos controles climáticos que atuam sobre o sul do Brasil e do Paraná, Grimm (2009, p. 263) destaca que a principal influência sobre os ventos de superfície é o sistema de alta pressão do Atlântico sul. Esse sistema atua sobre o sul do Brasil em todas as estações do ano e produz vento médio na superfície de leste/nordeste e de fraca intensidade.

Outro sistema de pressão importante para o Sul do Brasil é um centro de baixa pressão intermitente no noroeste da Argentina, Paraguai e sul da Bolívia, originado da interação entre os Andes, ventos de oeste em altos níveis e aquecimento da superfície. Essa baixa pressão aprofunda-se antes da passagem das frentes frias e diminui um ou dois dias depois. É um sistema quente, menos intenso no inverno, que afeta apenas a baixa troposfera (até 700 hPa) e com frequência é acompanhado por subsidência, e, conseqüentemente, por ausência de nebulosidade. Esse centro de baixa pressão estende-se e aprofunda-se no verão (Baixa do Chaco), fortalece o gradiente zonal subtropical de pressão e, com isso, o componente meridional do vento, ajudando a fortalecer os ventos de noroeste em baixos níveis que conectam os trópicos a região Sul. (GRIMM, 2009, p. 264 -265)

Grimm (2009, p. 266) destaca que em nenhuma época do ano é observado vento médio de sul em baixos níveis sobre a região sul do Brasil, sendo que o componente norte é mais significativo e mais forte no inverno e na primavera; enfatizando que nos ventos de norte e noroeste, com frequência, se desenvolve uma corrente de jato de baixos níveis que pode aumentar a ocorrência de chuvas e ventos na região sul.

Os ventos médios na alta (e média) troposfera sobre a região Sul são predominantemente de oeste, especialmente no inverno. [...] No inverno, ventos de oeste estendem-se para o norte, atingindo o sudeste/centro Brasil, enquanto no verão restringem-se ao extremo sul, pois se estabelece sobre grande parte do continente uma circulação anticiclônica em torno da alta da Bolívia. [...] Nas estações de transição, o jato subtropical de altos níveis está centrado sobre o sul do Brasil/nordeste da Argentina, o que influencia os máximos de precipitação na região e a ocorrência de complexos convectivos de mesoescala. (GRIMM, 2009, p. 267)

Wagner (1989) realizou um estudo preliminar dos ventos no Estado do Paraná com o fim de caracterizar o regime de ventos quanto à velocidade, direção predominante, velocidade e direção do pico máximo e probabilidade de ocorrência das velocidades, para o período de 1975 a 1986, com o objetivo de orientar a implantação de quebra-ventos, subsidiar projetos de aproveitamento de energia eólica e fornecer elementos para instalação de parques industriais e aeroportos.

A análise das séries anuais de dados permitiu a identificação das localidades de Cascavel, Clevelândia e Ponta Grossa com velocidades médias diárias altas dos ventos, constituindo as áreas mais indicadas para a viabilização do aproveitamento de energia eólica no estado.

A direção do vento predominante na maior parte dos locais estudados foi a NE, seguida das direções E e SE, fato que pode estar relacionado com os centros de alta pressão do Atlântico e do Pacífico que originam ventos nesta direção e que atingem o estado. Para os picos máximos dos ventos, embora a maior porcentagem tenha se concentrado nas direções NE, E e SE, os maiores valores verificados pelos autores citados ocorreram nas direções S, SW e W, evidenciando uma correlação entre a entrada da massa de ar polar, que é acompanhada de ventos do quadrante sul e a ocorrência de picos máximos extremos.

Prates, Zaicovski e Guetter (2002) analisaram o padrão de distribuição espacial do regime de vento e de rajada no estado do Paraná, abordando as características de velocidade média horária e rajada máxima horária.

Este estudo foi realizado em quatro etapas. Na primeira foi feita a recuperação dos dados horários do banco de dados do Instituto Tecnológico SIMEPAR para o período de 1º de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2000. Posteriormente foram aplicados testes para o controle de qualidade dos dados horários por meio do cálculo das estatísticas para cada uma das 24 horas do dia, que permitiram traçar mapas do vento médio e da rajada para as 9, 15 e 21 horas, para cada mês do ano. As análises revelaram que os meses de junho, setembro e novembro apresentam os maiores valores anuais.

Com relação à distribuição espacial dos ventos no estado, foi verificado que as regiões de Cascavel, Maringá, Francisco Beltrão, Guarapuava e Ponta Grossa apresentaram os maiores valores de velocidade média do vento ao longo do ano. No mapeamento do ciclo anual da rajada de vento, os meses de janeiro, setembro e outubro tiveram os maiores valores, sendo este último o mês que concentrou as maiores velocidades de rajada, entre 8m/s^{-1} e 10m/s^{-1} , observados na região de Maringá. No período analisado os valores de rajada máxima não ultrapassaram 25m/s^{-1} no estado.

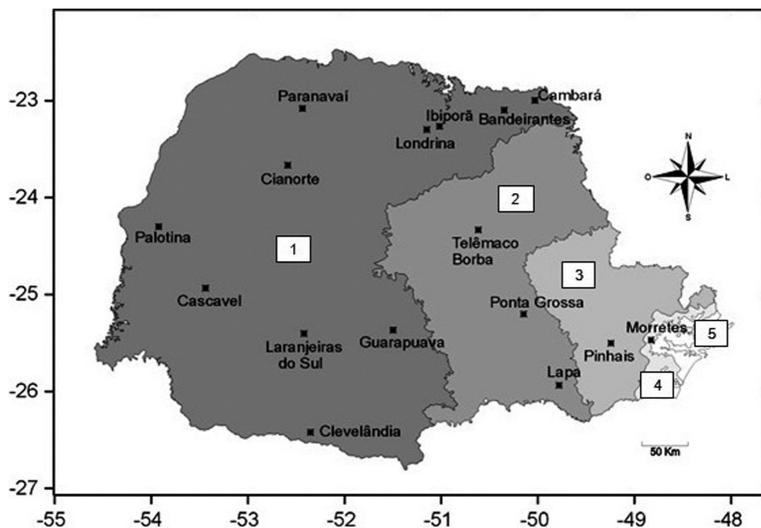
MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram utilizados registros de anemógrafos tipo 82a e 82b da marca R.Fuess, cujos sensores estão instalados a 10 metros acima do nível do solo, referentes ao período de 1976 a 2007, de 16 estações da rede do Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, situadas em Cambará, Bandeirantes, Ibiporã, Londrina, Paranaíba, Cianorte, Palotina, Telêmaco Borba, Cascavel, Ponta Grossa, Guarapuava, Laranjeiras do Sul, Clevelândia, Lapa, Pinhais e Morretes (figura 3). Estas estações foram escolhidas em virtude de suas localizações dentro do estado e, principalmente, por serem as que abrigam o anemógrafo universal.

Na análise foram caracterizados os seguintes parâmetros:

- 1) Velocidade média dos ventos - obtida a partir do total diário acumulado, cotado com base nos anemogramas, das quais foram geradas as médias diárias mensais e anuais para cada estação meteorológica, bem como os cálculos dos 20 intervalos de classe dos dados, que vão de 0,5 a 10m/s^{-1} .

A análise dos resultados para a velocidade média dos ventos consistiu na construção da frequência relativa, que é determinada pelo número de eventos para cada classe em um determinado período. Também foi elaborada a distribuição de frequência relativa acumulada, pois essa representação tem a vantagem de mostrar os eventos que são maiores ou menores do que certo valor (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996). A representação dos eventos foi elaborada por meio das frequências relativas e a elaboração dos gráficos de frequência acumulada para cada estação, denominados de polígonos de frequência acumulada.



1= Terceiro planalto ou planalto de trapp do Paraná; 2= Segundo planalto ou planalto de Ponta Grossa; 3= Primeiro planalto; 4= Serra do Mar; 5= Zona litorânea.

Figura 3 - Localização das estações meteorológicas

(Adaptado de MAACK, 2002, p.110)

Para as análises das velocidades médias diárias dos ventos para diferentes níveis de probabilidades foi utilizada a distribuição estatística de valores extremos denominada de Gumbel. A função de probabilidade acumulada da distribuição de Gumbel é:

$$F(v) = \exp\{ \exp[+ \alpha (v + \beta)] \},$$

em que α e β são, respectivamente, os parâmetros de locação e de forma da distribuição, estimados a partir da média v e do desvio padrão S da série de dados observados. As estimativas dos parâmetros α e β foram obtidas pelo método dos momentos.

- 2) Direção dos ventos - a direção predominante foi caracterizada por meio da análise de frequência das observações diárias do vento em cada um dos quadrantes: N, NE, E, SE, S, SW, W e NW.

Quando a velocidade horária foi inferior a $0,2 \text{ ms}^{-1}$, as horas correspondentes foram consideradas de calmaria, conforme recomendações da WMO (1995), assim como as horas com direção indefinida foram contadas como de direção variável. A partir desses dados foram elaboradas as rosas-dos-ventos com as médias mensais e anuais.

Para a identificação dos eventos de pico máximo acima de 15 ms^{-1} , valor a partir do qual podem ocorrer danos às plantas e estruturas em geral, foram computadas e analisadas as frequências de sua ocorrência em cada uma das direções estudadas.

- 3) Os picos máximos foram obtidos por meio da cotação dos anemogramas para os períodos anuais em cada estação meteorológica. Os resultados foram plotados com o objetivo de identificar as regiões no estado mais sujeitas aos ventos extremos.

REGIME DOS VENTOS NO ESTADO DO PARANÁ

Os valores da velocidade média mensal e anual dos ventos para as 16 localidades estudadas estão dispostos na tabela 1. Também foram confeccionados gráficos que apresentam a relação entre as velocidades médias mensais e anuais no período estudado para cada localidade, mas devido ao grande número de figuras optou-se por apresentar somente a tabela 1.

Os locais que apresentaram as maiores velocidades médias mensais e anuais dos ventos foram Cascavel, Clevelândia e Ponta Grossa, com valores acima de 3ms^{-1} .

Os valores abaixo de 2ms^{-1} foram registrados em Morretes e Telêmaco Borba. As médias da velocidade dos ventos oscilaram entre 2ms^{-1} e 3ms^{-1} para as demais localidades.

As análises dos gráficos sobre a relação entre as velocidades médias mensais e anuais de cada localidade revelaram pouca variabilidade das velocidades médias mensais dos ventos em relação às anuais. Foram observadas maiores velocidades médias durante o inverno e a primavera, sendo que o mês de setembro apresentou os maiores valores para quase todas as estações analisadas, exceto para Morretes.

A análise da frequência das velocidades médias diárias dos ventos (tabela 2) mostra uma ampliação da concentração dos dados que ficaram entre as velocidades de $1,5$ e $3,5\text{ms}^{-1}$. As cidades de Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia apresentaram, como anteriormente, maiores frequências de velocidades dos ventos altas e vários episódios de ventos com velocidades superiores a 8ms^{-1} . E em locais como Cambará, Bandeirantes e Guarapuava, quando comparados com as localidades citadas anteriormente, apresentaram a média diária mais baixa, mas na análise da frequência também registraram ventos com velocidades acima de 8ms^{-1} .

Telêmaco Borba se manteve como um local com velocidade média dos ventos baixa, não registrando eventos acima de $6,0\text{ms}^{-1}$. Em Morretes houve o maior número de ocorrências de ventos de $0,5$ a $1,5\text{ms}^{-1}$. A análise de frequência para Pinhais demonstrou que essa localidade apresenta os menores valores, não registrando ventos acima de 5ms^{-1} em nenhum dia.

Tabela 1 - Velocidade média mensal e anual do vento em ms^{-1} , para as 16 estações estudadas no período de 1976 a 2007

LOCAL		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
BANDEIRANTES	LI	1,8	1,7	1,6	1,9	1,6	1,5	1,7	2,0	2,4	2,5	2,6	1,9	
	M	2,5	2,4	2,6	2,6	2,4	2,2	2,6	2,9	3,6	3,6	3,5	3,0	2,8
	LS	3,1	3,1	3,6	3,3	3,1	3,0	3,5	3,7	4,7	4,8	4,4	4,0	
CAMBARÁ	LI	1,6	1,4	1,6	1,8	1,5	1,4	1,6	1,8	2,4	2,5	2,7	2,0	
	M	2,3	2,1	2,2	2,3	2,1	2,0	2,3	2,5	3,3	3,4	3,4	2,8	2,6
	LS	3,0	2,7	2,9	2,9	2,6	2,6	3,0	3,2	4,1	4,3	4,2	3,5	
IBIPORÃ	LI	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,0	
	M	2,4	2,3	2,4	2,5	2,3	2,2	2,5	2,6	2,9	2,9	2,9	2,6	2,5
	LS	3,2	3,0	3,0	3,2	2,8	2,8	3,2	3,3	3,7	3,6	3,6	3,2	
LONDRINA	LI	1,8	1,7	1,7	1,8	1,6	1,6	1,8	1,9	2,2	2,3	2,3	2,1	
	M	2,4	2,2	2,2	2,3	2,1	2,0	2,3	2,4	2,8	2,8	2,8	2,6	2,4
	LS	3,0	2,8	2,8	2,7	2,6	2,4	2,9	2,9	3,3	3,3	3,3	3,0	
CASCAVEL	LI	2,4	2,4	2,2	2,5	2,3	2,2	2,8	2,9	1,9	2,7	2,8	2,3	
	M	3,1	3,1	3,1	3,4	3,5	3,8	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,4	3,6
	LS	3,8	3,8	3,9	4,4	4,7	5,3	5,3	5,0	5,9	5,1	4,8	4,4	
CIANORTE	LI	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,0	2,0	1,8	
	M	2,1	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,4	2,4	2,6	2,5	2,4	2,2	2,3
	LS	2,6	2,5	2,4	2,6	2,4	2,4	2,9	2,9	3,0	3,0	2,9	2,7	
PALOTINA	LI	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	1,9	1,8	1,5	
	M	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8	1,8	2,0	2,1	2,5	2,4	2,3	1,9	2,0
	LS	2,2	2,1	2,2	2,4	2,4	2,2	2,4	2,5	3,0	2,9	2,8	2,4	
PARANAÍ	LI	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,6	1,7	1,9	1,9	1,8	1,8	1,6	
	M	2,2	2,1	2,0	2,1	2,1	2,3	2,6	2,7	2,8	2,6	2,5	2,3	2,4
	LS	3,1	2,9	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6	3,5	3,7	3,3	3,2	3,0	
CLEVELÂNDIA	LI	3,1	2,9	2,9	3,0	2,8	3,1	3,4	3,4	3,5	2,2	2,3	2,1	
	M	3,5	3,4	3,3	3,5	3,5	3,7	4,2	4,0	4,2	3,8	3,8	3,5	3,7
	LS	3,9	3,8	3,6	4,0	4,2	4,4	5,0	4,6	4,9	5,5	5,3	5,0	
GUARAPUAVA	LI	1,9	1,8	1,9	2,1	1,9	2,1	2,4	2,5	2,7	2,5	2,6	2,2	
	M	2,9	2,6	2,7	2,8	2,6	2,6	3,0	3,0	3,4	3,3	3,2	2,9	2,9
	LS	3,8	3,4	3,5	3,4	3,2	3,1	3,6	3,6	4,2	4,0	3,8	3,6	
LARANJEIRAS DO SUL	LI	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,8	2,1	2,0	2,0	1,8	1,8	1,7	
	M	2,2	2,1	2,0	2,0	2,1	2,3	2,6	2,5	2,7	2,4	2,4	2,2	2,3
	LS	2,9	2,7	2,6	2,5	2,6	2,8	3,2	3,1	3,4	3,1	3,0	2,8	
MORRETES	LI	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,2	
	M	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5	1,3
	LS	1,8	1,7	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	1,8	
PONTA GROSSA	LI	2,7	2,3	2,4	2,6	2,3	2,6	2,8	2,9	3,3	3,2	3,2	2,9	
	M	3,3	3,0	2,9	3,2	3,1	3,2	3,6	3,7	4,0	3,9	3,9	3,6	3,5
	LS	4,0	3,6	3,5	3,7	3,8	3,9	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,4	
TELÊMACO BORBA	LI	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	
	M	1,8	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9	1,6
	LS	2,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	1,9	2,2	2,0	2,2	2,2	
PINHAIS	LI	1,8	1,7	1,7	1,8	1,4	1,7	1,9	1,8	2,1	2,1	2,1	2,0	
	M	2,4	2,2	2,1	2,1	1,9	2,1	2,3	2,2	2,6	2,6	2,6	2,5	2,3
	LS	3,1	2,8	2,6	2,5	2,5	2,5	2,8	2,7	3,0	3,0	3,1	3,0	
LAPA	LI	2,2	2,1	2,1	2,1	1,8	1,9	2,2	2,3	2,7	2,6	2,7	2,4	
	M	2,7	2,5	2,4	2,5	2,3	2,5	2,7	2,7	3,1	3,0	3,1	3,0	2,7
	LS	3,2	3,0	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,4	3,4	3,5	3,6	

LI = limite inferior e LS = limite superior; M = média.

**Tabela 2 - Frequência de velocidade do vento (dias),
obtida das séries com anos completos**

ms⁻¹ Município	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	n
Cambará	13	281	1791	2510	2141	1493	1044	747	493	342	254	161	105	73	29	14	7	1	1	1	11501
Bandeirantes	1	112	862	1655	1462	890	609	445	314	277	218	177	118	89	77	44	21	9	6	1	7387
Londrina	2	51	1259	3345	2729	1711	1124	671	364	209	96	37	11	6	1	0	0	0	0	0	11616
Ibipora	0	30	945	2870	2841	1933	1268	790	428	235	124	39	17	9	0	1	0	0	0	0	11530
Paranavai	4	375	1465	2273	2363	1945	1263	650	312	134	58	29	12	3	1	1	0	0	0	0	10888
Cianorte	2	60	1102	2738	2606	1564	820	328	137	57	9	5	1	1	0	0	0	0	1	0	9431
Telemaco Borba	1	887	4362	3485	1465	558	220	72	31	6	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	11095
Pinhais	2	105	1062	1375	804	389	149	47	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3955
Palotina	9	874	2882	2999	2034	1233	705	398	190	102	37	26	8	6	1	1	0	0	0	0	11505
Cascavel	0	4	75	362	946	1505	1572	1236	918	554	400	278	157	106	37	25	14	5	0	0	8194
Morretes	377	3007	4144	2376	655	182	81	50	31	29	9	8	3	1	1	0	0	0	0	0	10954
Lapa	0	8	320	1025	1759	1633	1158	669	286	114	57	16	6	1	2	0	0	0	0	0	7054
Ponta Grossa	1	14	279	841	1319	1565	1427	1352	1051	707	485	299	150	74	32	18	12	3	2	0	9631
Guarapuava	0	39	606	2120	2298	1817	1310	944	672	470	299	222	125	71	25	25	8	4	2	2	11059
Laranjeiras do Sul	6	181	1295	3140	2709	1729	968	476	245	121	62	23	14	2	6	3	0	1	0	0	10981
Clevelândia	0	2	17	272	1024	1866	2184	1940	1410	1020	627	363	242	105	65	22	14	9	3	2	11187

n = número de observações.

A partir dos gráficos de frequência relativa acumulada (devido a restrição do número de páginas optou-se por apresentar apenas dois gráficos como exemplo - gráfico 1 e gráfico 2), cujos municípios foram agrupados conforme a região, obteve-se os valores de velocidade média diária dos ventos associados aos níveis de probabilidade. Na tabela 3 encontram-se os valores de velocidade média diária com probabilidades de não serem extrapolados em 50, 90, 95 e 99%. Isso significa que os dados tiveram 50, 10, 5 e 1% de velocidades médias acima do valor registrado na tabela.

Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia foram os locais que apresentaram os maiores valores de velocidade média diária dos ventos, com 10% dos seus dados igual ou acima de 4,1, 3,7 e 3,9 ms^{-1} respectivamente. Telêmaco Borba, Morretes e Palotina, como verificado anteriormente, têm suas médias anuais baixas e apresentaram na mesma porcentagem valores de 1,8, 1,5 e 2,1 ms^{-1} .

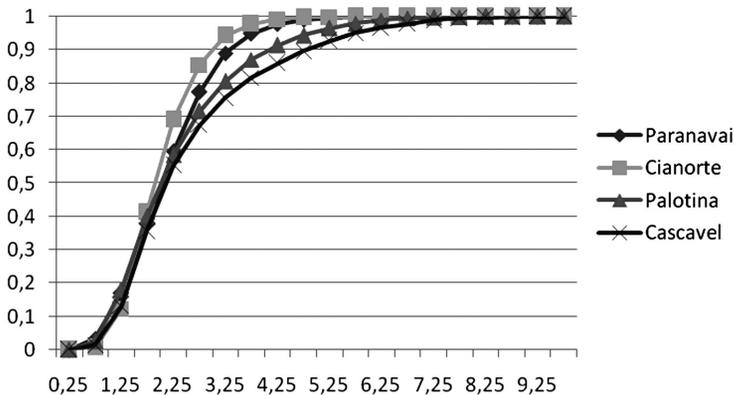


Gráfico 1 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as cidades de Paranavaí, Cianorte, Palotina e Cascavel

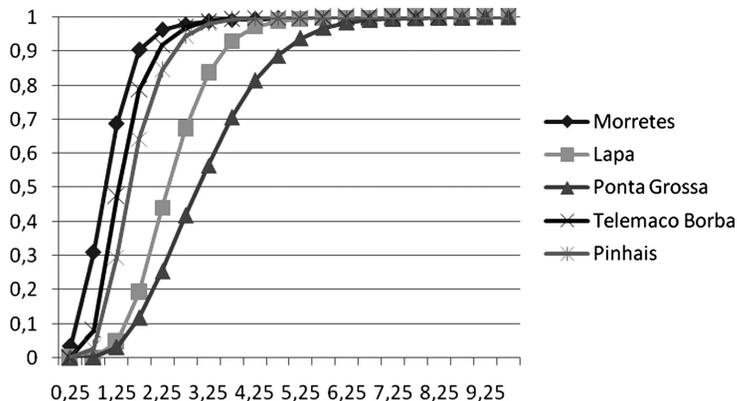


Gráfico 2 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as cidades de Morretes, Lapa, Ponta Grossa, Telêmaco Borba e Pinhais

Tabela 3 - Velocidades médias diárias (ms^{-1}) observadas em diferentes níveis de probabilidade

P($V \leq v$) Local	0,50	0,90	0,95	0,99
Cambará	2,6	2,8	2,9	3,2
Bandeirantes	2,8	3,2	3,3	3,6
Londrina	2,4	2,6	2,7	2,8
Ibiporã	2,5	2,9	3,0	3,4
Paranavaí	2,3	2,8	3,0	3,5
Cianorte	2,2	2,5	2,5	2,7
Telêmaco Borba	1,6	1,8	1,8	1,9
Palotina	2,0	2,1	2,2	2,3
Cascavel	3,5	4,1	4,3	4,9
Morretes	1,3	1,5	1,5	1,7
Pinhais	2,3	2,5	2,6	2,9
Lapa	2,7	2,9	2,9	3,1
Ponta Grossa	3,4	3,7	3,8	4,1
Guarapuava	2,9	3,1	3,2	3,4
Laranjeiras do Sul	2,3	2,6	2,7	2,9
Clevelândia	3,7	3,9	4,1	4,3

A distribuição das direções predominantes dos ventos no estado foi representada por meio das rosas-dos-ventos para os doze meses do ano e a média anual para as 16 estações analisadas, mas são apresentados aqui apenas os exemplos de Paranavaí (figura 4), Londrina (figura 5) e Bandeirantes (figura 6).

A partir de tais gráficos foi observado que, tanto para os meses como para as estações do ano, não ocorrem mudanças significativas nas direções dos ventos nos locais estudados. Os dados revelam predominância de vento nordeste (NE) para a maioria das localidades estudadas, sendo elas: Paranavaí, Palotina, Clevelândia, Guarapuava, Ponta Grossa, Cascavel e Morretes.

A segunda direção de maior ocorrência foi Leste (E), para Londrina, Cianorte, Laranjeiras do Sul, Lapa e Pinhais. Em seguida verificou-se a direção predominante de sudeste (SE) para as localidades de Bandeirantes, Ibiporã, Cambará e Telêmaco Borba.

Para as localidades que apresentaram direção NE dos ventos como predominante, a segunda direção mais freqüente foi E, com exceções de Clevelândia e Morretes cujas direções secundárias foram N e SO, respectivamente.

Nos locais onde a direção E foi predominante, a segunda direção mais freqüente foi NE e para os locais de maior ocorrência de direção SE tiveram na sequência as direções S e E.

Os resultados mostraram que a direção predominante dos ventos para o estado se concentra entre os quadrantes NE-E-SE.

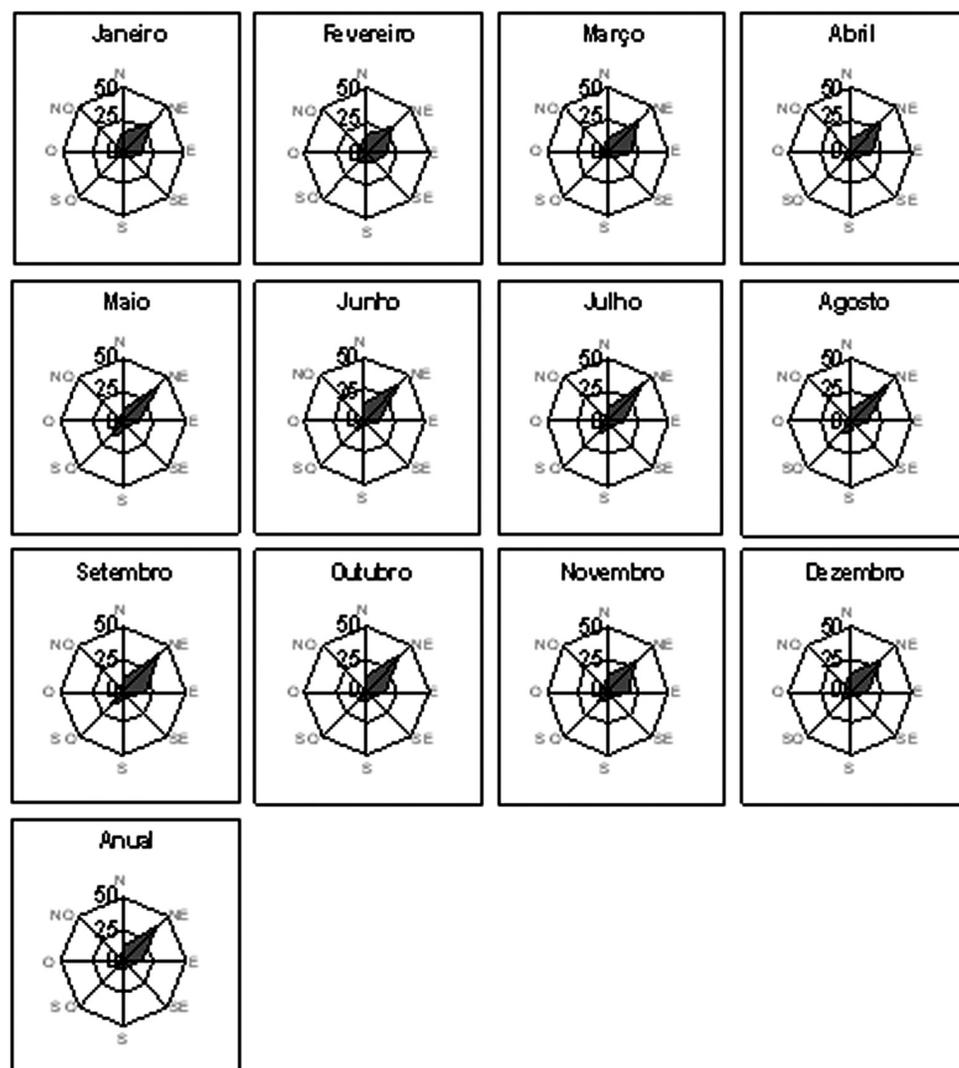


Figura 4 - Direções predominantes dos ventos a partir das médias mensais e anual para a cidade de Paranavaí

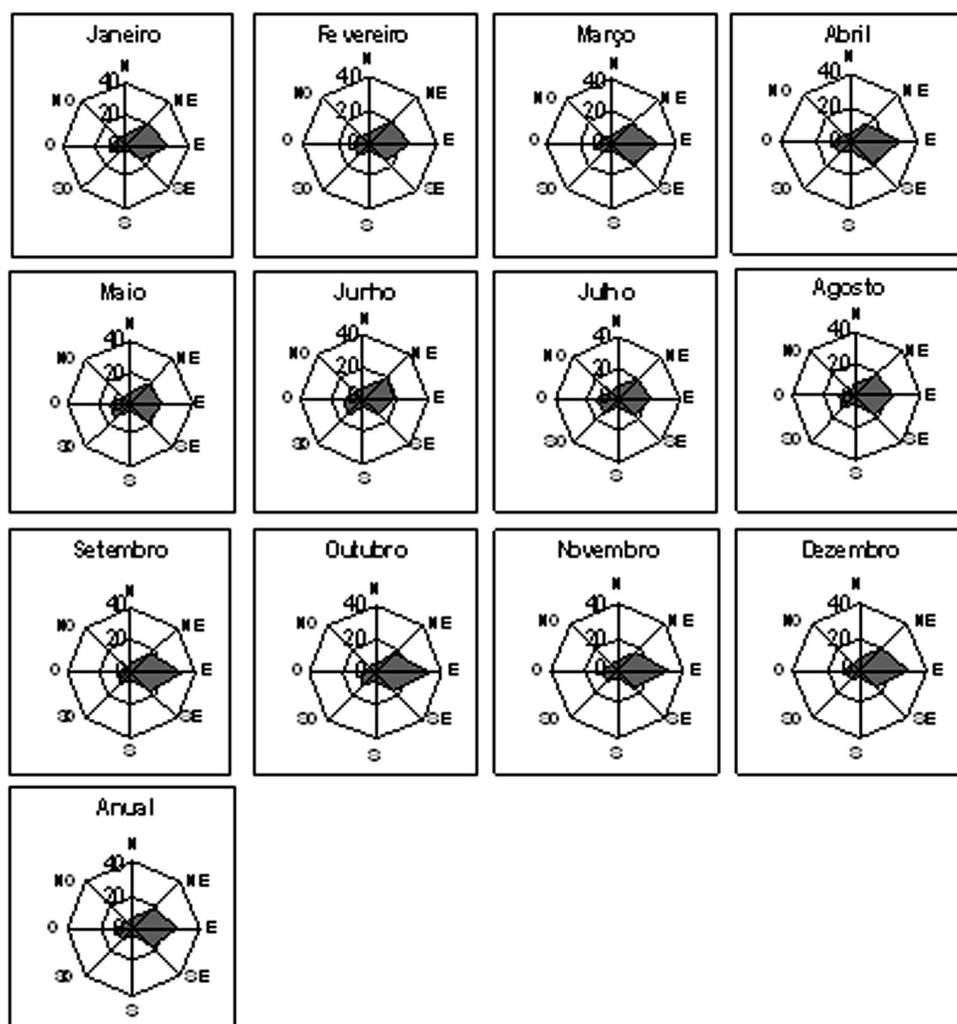


Figura 5 - Direções predominantes dos ventos a partir das médias mensais e anual para a cidade de Londrina

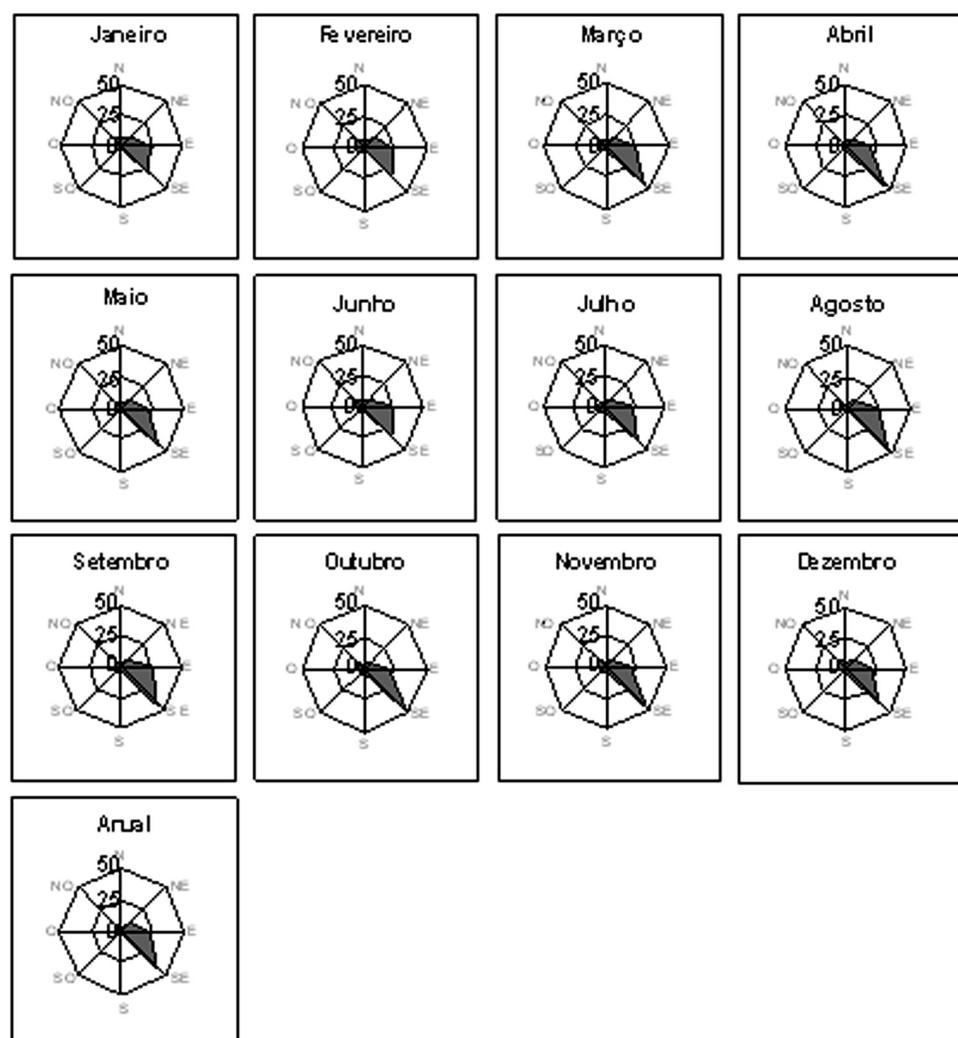


Figura 6 - Direções predominantes dos ventos a partir das médias mensais e anual para a cidade de Bandeirantes

Na tabela 4 constam os maiores picos máximos registrados em cada direção da rosa-dos-ventos. A maior porcentagem de picos máximos se concentrou na direção SW nas localidades de Bandeirantes, Ibiporã, Londrina, Paranaíba, Guarapuava, Lapa, Morretes e Pinhais. Para as demais cidades as direções variaram de N, E, SE, S, W e NW. Segundo Wagner (1989), altos valores de ventos na direção S-SW-W evidenciam uma correlação entre a entrada de massas de ar polares que são acompanhadas de ventos do quadrante Sul e a ocorrência de picos máximos extremos.

Tabela 4 - Maiores valores de pico máximo (ms^{-1}) por direção da rosa-dos-ventos, para as 16 cidades analisadas

	ms^{-1}							
LOCAL	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Cambará	30,0	32,0	39,5	25,9	26,9	37,5	31,6	31,7
Bandeirantes	20,6	26,6	24,0	22,7	28,6	30,5	26,5	23,2
Ibiporã	21,5	23,0	27,5	21,2	33,0	33,2	30,8	27,0
Londrina	30,5	29,8	20,0	33,3	34,4	50,0	39,6	28,7
Cascavel	33,5	26,2	20,9	26,1	28,8	30,6	28,2	30,0
Cianorte	24,1	28,2	21,2	19,8	23,0	25,5	30,0	23,9
Palotina	22,6	25,0	21,8	27,7	33,8	29,6	26,1	27,5
Paranaíba	24,0	21,1	19,7	23,6	25,0	27,9	22,5	20,1
Clevelândia	34,7	28,0	20,0	33,7	32,8	30,3	31,9	30,4
Guarapuava	23,5	24,4	20,5	19,2	25,9	30,0	23,9	20,5
Laranjeiras do Sul	29,3	24,5	22,0	22,6	24,8	24,8	22,6	30,1
Lapa	25,2	17,2	18,0	16,1	27,6	39,9	33,5	24,8
Morretes	27	22,1	15,2	27,4	27,4	32,2	32,0	26,0
Pinhais	20,1	17,2	19,9	18,8	23,8	27,0	24,4	23,3
Ponta Grossa	26,3	28,0	24,2	31,5	31,1	29,9	21,4	25,9
Telêmaco Borba	21,9	23,3	21,9	28,4	27,0	28,8	31,0	30,8

Também foram confeccionados gráficos para a representação dos valores anuais de picos máximos para toda a série de dados e respectivas estações, mas devido ao grande número de figuras optou-se por apenas relatar os resultados das análises. Tais análises demonstraram que Londrina apresentou o maior valor de pico máximo dos ventos do estado, que foi de 50ms^{-1} ocorrido no dia 17 de julho de 1978.

Cambará, Bandeirantes, Ibiporã, Palotina, Clevelândia, Cascavel, Telêmaco Borba, Lapa, Ponta Grossa e Morretes registraram valores entre 30 a 40ms^{-1} .

Os menores picos foram verificados em Cianorte, Paranaíba, Guarapuava, Laranjeiras do Sul e Pinhais, que não ultrapassaram a velocidade de 30ms^{-1} .

CONCLUSÕES

A análise sobre a relação entre as velocidades médias mensais e anuais calculadas para as várias localidades do estado do Paraná revelou pouca variabilidade das velocidades

médias mensais dos ventos em relação às anuais. Foram observadas maiores velocidades médias durante o inverno e a primavera, sendo que o mês de setembro apresentou os maiores valores para quase todas as estações analisadas, exceto para Morretes, confirmando os dados identificados por Prates, Zaicovski e Guetter (2002).

Vale ressaltar que neste período de transição sazonal ocorre o gradativo aquecimento do continente sul-americano favorecendo os contrastes barométricos com o retorno do anticiclone do Atlântico Sul para sua posição climatológica confrontando com as passagens frontais e a massa Polar atlântica que ainda atua sobre o estado, bem como o recuo das massas de ar tropicais de baixa pressão. A atuação dessas massas está relacionada com os valores das velocidades dos ventos abaixo da média anual registrados no verão e outono, havendo valores médios bem próximos entre os meses para todas as estações.

A distribuição de frequência das velocidades médias diárias do vento propiciou uma análise mais consistente e a comparação com os dados de velocidade média diária, o que mostra uma ampliação da concentração dos dados que ficaram entre as velocidades de 1,5 e 3,5ms⁻¹. As cidades de Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia apresentaram velocidades médias mensais acima de 3ms⁻¹ em todos os meses do ano, com exceção apenas para o mês de março em Ponta Grossa. Nas demais localidades essas médias ficaram abaixo de 3ms⁻¹ e em Morretes e Telêmaco Borba foram inferiores a 2ms⁻¹.

A direção predominante dos ventos foi de NE nas localidades de Paranavaí, Palotina, Cascavel, Clevelândia, Guarapuava, Ponta grossa e Morrestes. Em Londrina, Cianorte, Laranjeiras do Sul, Lapa e Pinhais os ventos tiveram direção predominante de E e em Cambará, Bandeirantes, Ibiporã e Telêmaco Borba de SE, essas últimas localidades estão situadas na margem direita do rio Tibagi podendo contribuir para a direção dos ventos. Verifica-se que as direções predominantes dos ventos no Paraná são oriundas do quadrante leste, demonstrando a influência do anticiclone do Atlântico sul sobre os ventos na superfície, que sofre pequenas alterações nas direções em virtude do posicionamento latitudinal e do relevo das localidades estudadas, indo de encontro com o que Wagner (1989) havia ressaltado.

A análise dos picos máximos dos ventos no estado demonstrou que tais eventos possuem direção predominante de SW e o maior valor registrado foi de 50ms⁻¹, na cidade de Londrina. Conforme Maack (2002) e Waganer (1989), altos valores dos ventos oriundos do quadrante sul demonstram a influência da entrada das massas polares no estado. Os anticiclones que se infiltram desfazem a camada de nuvens em pouco tempo, trazendo consigo dias claros e ensolarados. As massas de ar polares estagnadas sobre o continente se aquecem, novamente devido ao acúmulo das radiações solares, motivando a mudança da direção dos ventos de E para NE.

Vale destacar também que os ventos extremos têm sua origem associada à atuação de determinados sistemas meteorológicos, sendo que os sistemas convectivos de mesoescala e os sistemas de grande escala (frontais e linhas de instabilidade) são os mais relevantes, mas que requerem um estudo mais acurado para a identificação de sua atuação e a identificação dos impactos de sua ocorrência sobre as localidades estudadas, demonstrado a necessidade de aprofundar tais análises.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL, 1996. 161p.
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CARAMORI, P. H.; OMETTO, J. C.; NOVA, N. A. V.; COSTA, J. D. Efeitos do vento sobre mudas de cafeeiro Mundo Novo e Catuaí Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, p.1113 –1118, 1986.
- CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. (2001). Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm> cesso em: 28.jul.2009.
- GONÇALVES, R. C. **Análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GRIMM, A. M. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259 - 275
- IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Curitiba, 2000. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 23set2009.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 3ª. ed, 2002. 440 p.
- MENDONÇA, F. A. **O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno**. Proposição Metodológica para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/Pr. 1994. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. F. Clima. **Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 4, 1968. p. 114 - 166.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1989. 421p.
- NOGAROLLI, M. **Evolução climática do estado do Paraná: 1970 – 1999**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Codes**: International Codes. Vol. 1, Part A – Alphanumeric Codes. WMO. nº 306. 1995.
- PRATES, J. E; ZAICOVSKI, M. B.; GUETTER, A. K. Variabilidade temporal e espacial do vento médio e de rajada no Paraná. **Anais... XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002, Foz de Iguçu. XII CBM, 2002.
- SATYAMURTY, P., NOBRE, C. A., SILVA DIAS, P. L. Topics: South America. **Meteorological Monographs**, v. 27, n. 49, 1998. p. 119-139
- VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E. R. Quebra-Vento. In: RUGGIERO, C. **Bananicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.196-211.
- WAGNER, C. S. **Velocidade e direção predominante dos ventos no estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1989. 56p. (Boletim técnico, 26)

Recebido em janeiro de 2011

Revisado em março de 2011

Aceito em março de 2011

