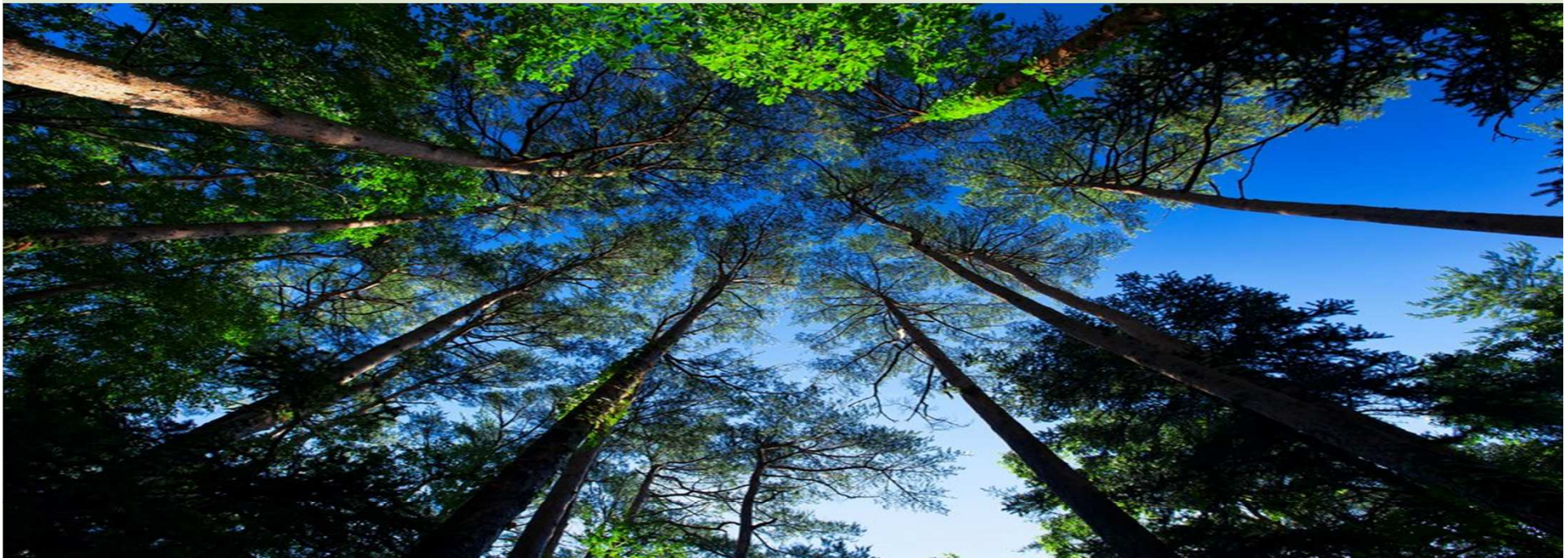


# LCE 5702 – MÉTODOS INSTRUMENTAIS DE ANÁLISE FÍSICA DO AMBIENTE

Prof. Dr. Sérgio Oliveira Moraes

## VENTOS EM AMBIENTES EXTERNOS: MÉTODOS DE CONTROLE E MEDIÇÕES



Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz”

Universidade de São Paulo



## OBJETIVOS DO PRESENTE ESTUDO:

- Buscar ações para controle dos ventos visando promover conforto na altura dos pedestres em dias frios
- Avaliar a conveniência de utilização de árvores como barreira aos ventos: pesquisa bibliográfica de ações apropriadas
- Pesquisar sobre alguns instrumentos de medição de ventos



**Escola Superior de Agricultura**

**"Luiz de Queiroz"**

Universidade de São Paulo



## VENTOS: CARACTERÍSTICAS E CONTROLE

- Maioria dos objetos da paisagem alteram a velocidade e a direção dos ventos
- Características dos objetos da paisagem que mais interferem: tamanho, localização, orientação, porosidade
- Modificar a paisagem: locar objetos com características apropriadas nos locais adequados para funcionarem como barreiras
- Vegetação arbórea tem efeito significativo nos fluxos de vento, afetando direção e velocidade
- Geralmente, quanto maior e mais densa é a vegetação, maior é o efeito de barreira
- Esse efeito não é totalmente predizível mas algumas situações gerais podem ser consideradas:

Fonte: BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. New York: John Wiley & Sons, 1995, p. 131.



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

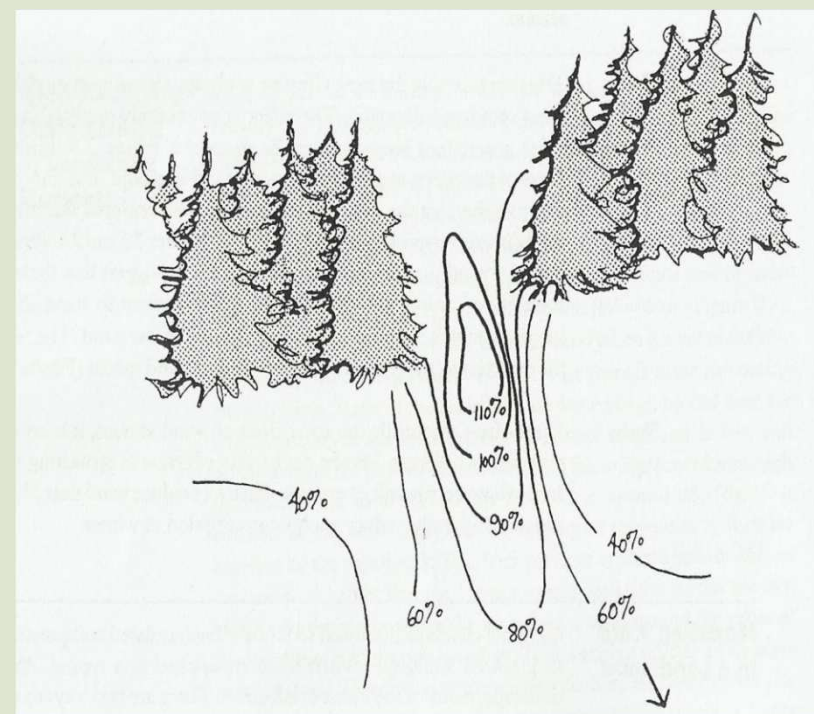
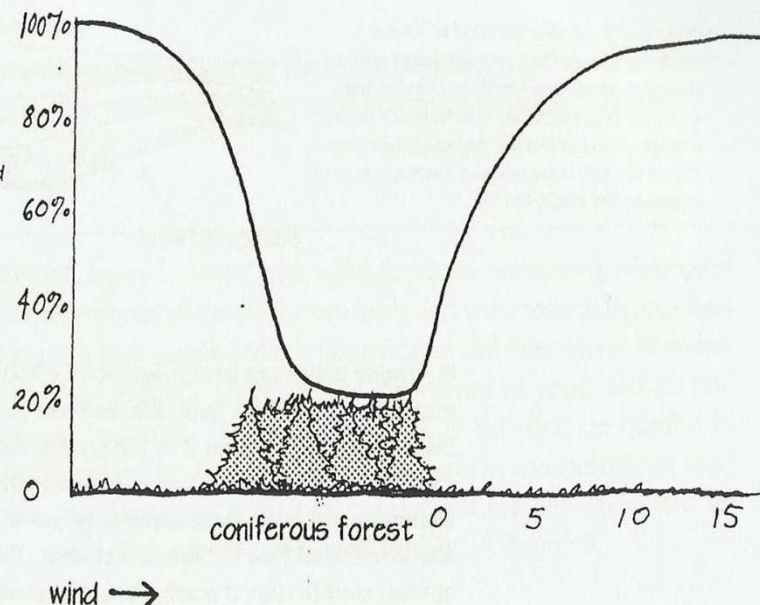
Universidade de São Paulo





132 7. Wind Modification

FIGURE 7.6. Different configurations of trees have typical wind patterns that can be expected. This figure illustrates some common tree patterns and the resultant wind patterns (after McPherson, 1984).



Fonte: BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. New York: John Wiley & Sons, 1995, p.132.

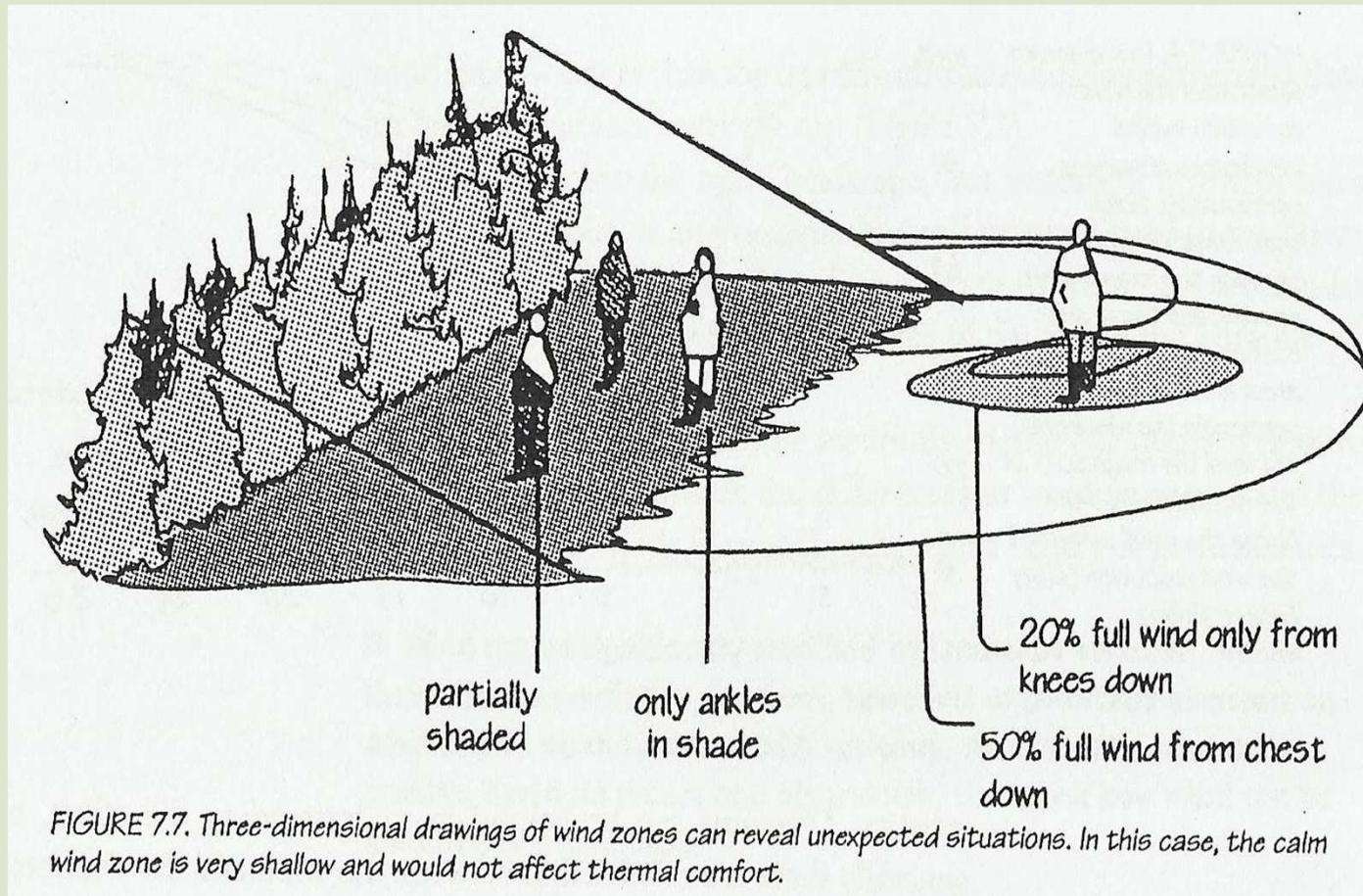


Escola Superior de Agricultura

"Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo





Fonte: BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. New York: John Wiley & Sons, 1995, p.132.



## VENTOS: CONTROLE POR BARREIRAS ARBÓREAS

- Velocidade do ar próximo ao solo pode ser controlada até certos limites
- Barreira aos ventos composta por árvores:
  - . propriedades estéticas e de sombreamento
  - . reduzem a velocidade dos ventos; este efeito mecânico traz mudanças perceptíveis tanto na temperatura quanto na umidade do ar, nos efeitos evaporativos e no acúmulo de neve
- O tipo de barreira utilizada tem efeito definido no padrão de fluxo de ar e na área de proteção resultantes:

Fonte: Olgyay, V. and Olgyay, A. *Design With Climate*. New Jersey: Princeton University Press, 1963, p. 97-98.



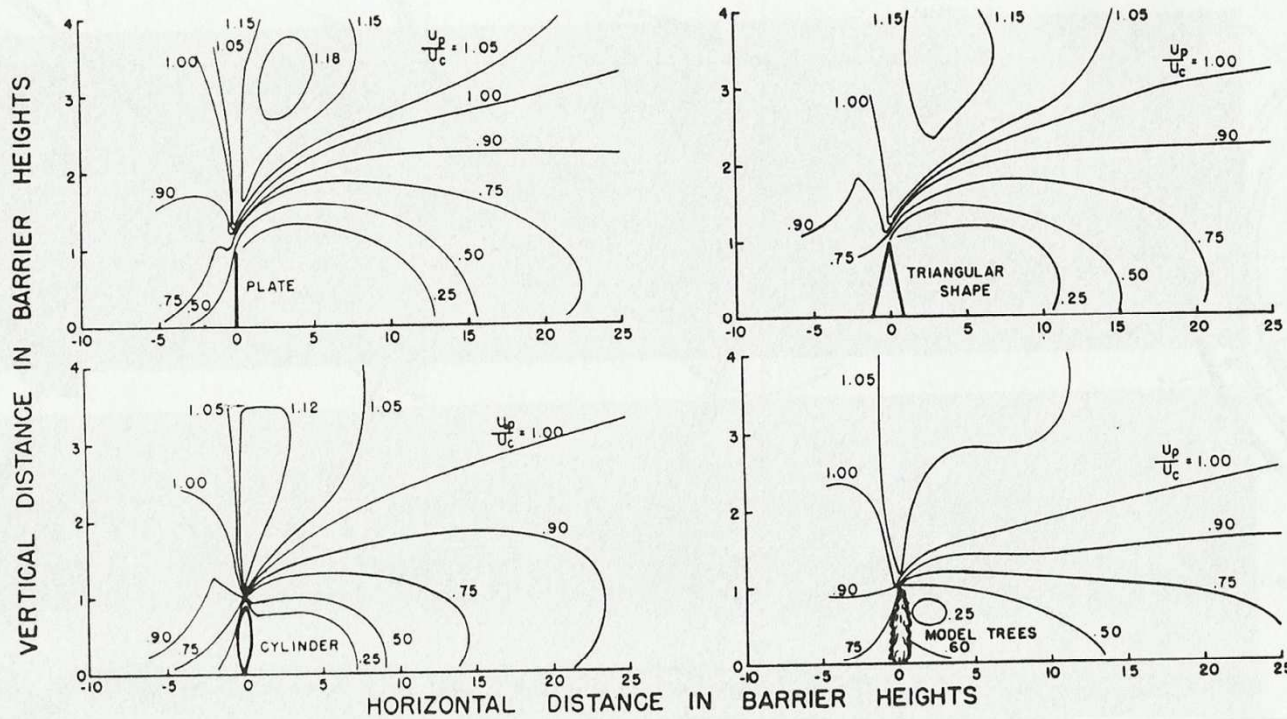
**Escola Superior de Agricultura**

**"Luiz de Queiroz"**

Universidade de São Paulo







190. Air flow around four barriers of varying shape.

Object	Distance at 0.1 H to—		
	75% reduction	50% reduction	25% reduction
Vertical plate	13.0 H	15.5 H	21.5 H
Triangular shape	10.5 H	15.0 H	20.5 H
Cylindrical shape	7.0 H	9.0 H	14.0 H
Model trees	—	13.5 H	27.0 H

Fonte: Olgyay, V. and Olgyay, A. *Design With Climate*. New Jersey: Princeton University Press, 1963, p. 98.

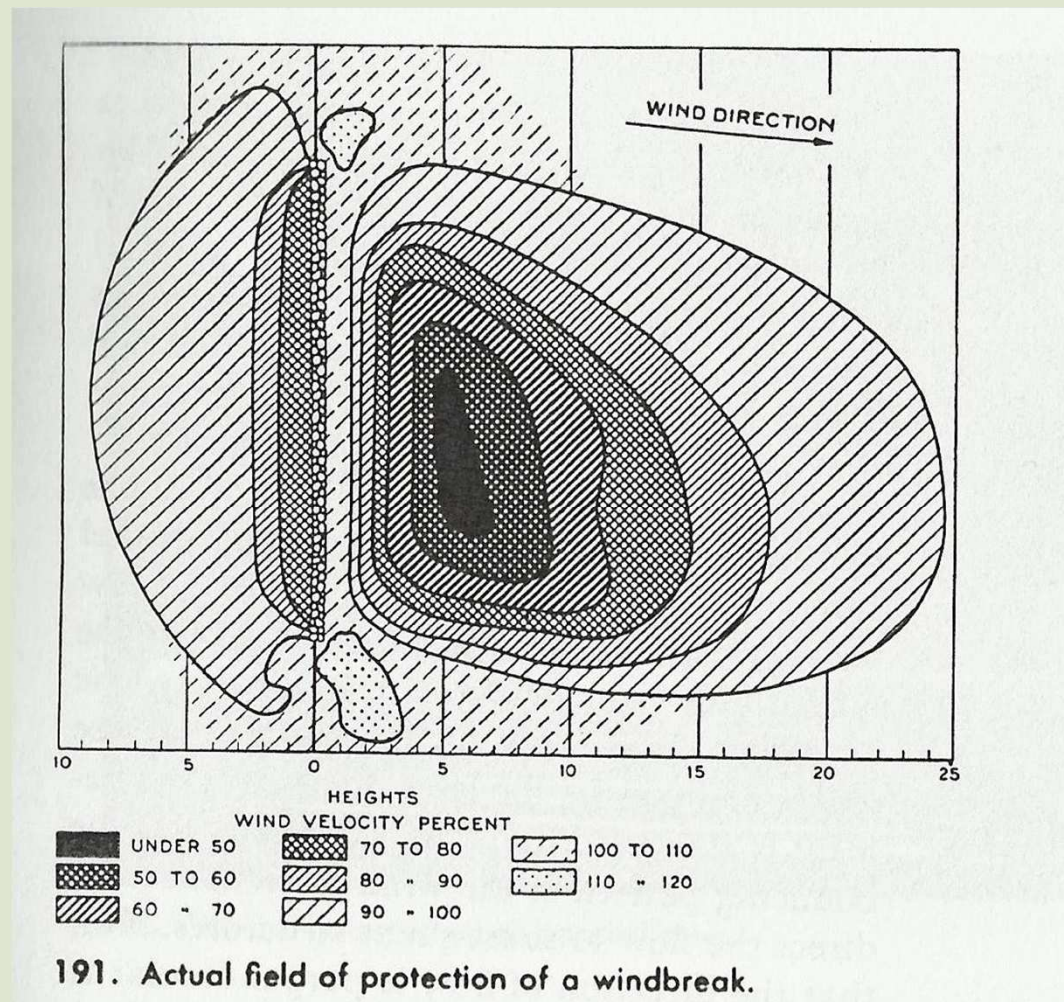


Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz”

Universidade de São Paulo





Fonte: Olgay, V. and Olgay, A. *Design With Climate*. New Jersey: Princeton University Press, 1963, p. 99.



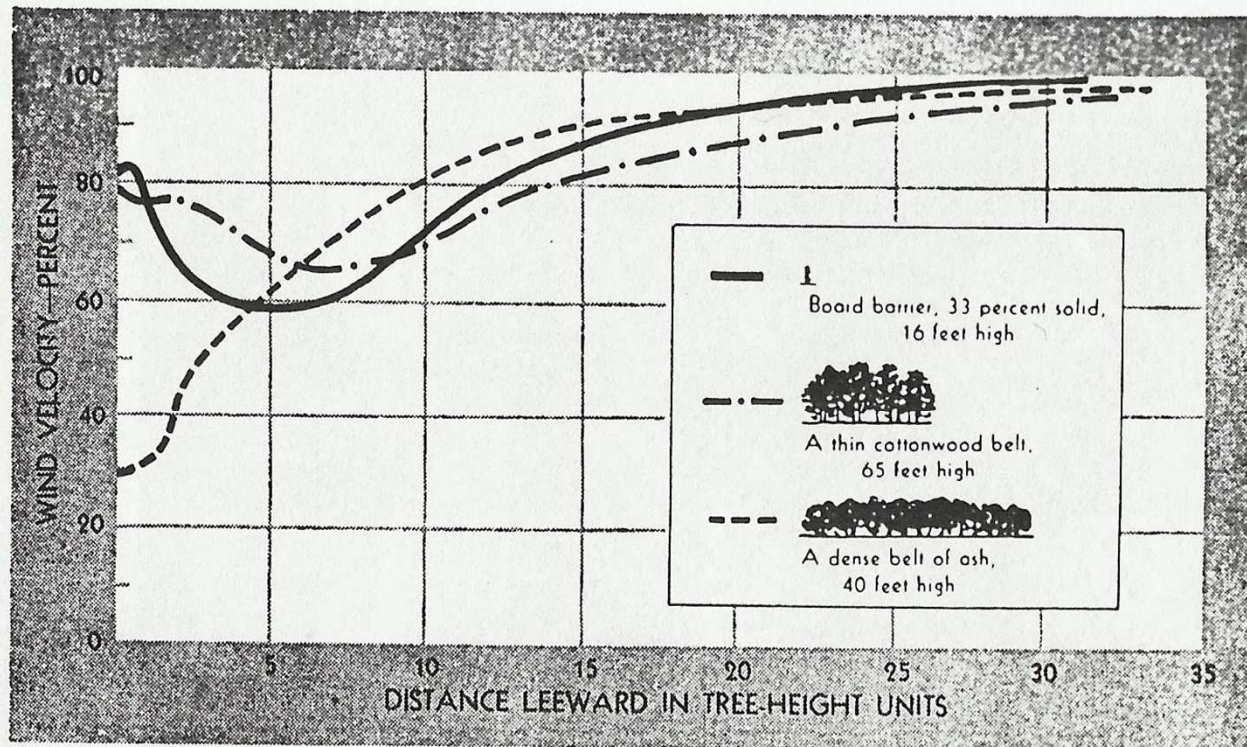
Escola Superior de Agricultura

"Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo







192. Wind velocity at three types of windbreaks.

Fonte: Olgay, V. and Olgay, A. *Design With Climate*. New Jersey: Princeton University Press, 1963, p. 99.



## VENTOS: CONTROLE COM BARREIRAS ARBÓREAS

- Principal objetivo das barreiras: reduzir a velocidade do vento horizontal próximo ao solo em áreas sujeitas a ventos indesejáveis
- Barreiras arbóreas também modificam balanços de água e energia
- A distância de influência da barreira é usualmente indicada em % de redução da velocidade do vento horizontal (comparada à velocidade no campo aberto à mesma altura)
- A distância de influência da barreira depende de sua densidade
- Uma barreira de densidade média promove o melhor resultado, por ter a máxima atenuação combinada com menor turbulência no sotavento: efeitos sentidos até 20 a 25 x h (altura da barreira), chegando a 40 x h

Fonte: OKE, Tim R. *Boundary Layer Climates*. 2 ed. London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group, 1987, p. 242-245.



**Escola Superior de Agricultura**

**"Luiz de Queiroz"**

Universidade de São Paulo



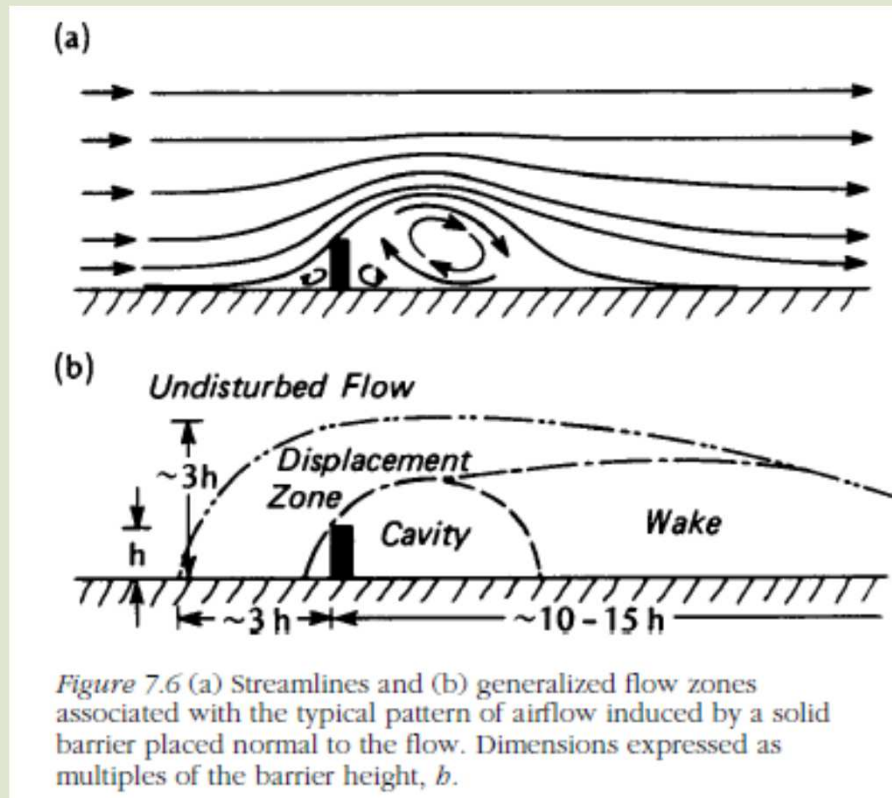


Figure 7.6 (a) Streamlines and (b) generalized flow zones associated with the typical pattern of airflow induced by a solid barrier placed normal to the flow. Dimensions expressed as multiples of the barrier height,  $b$ .

Fonte: OKE, Tim R. *Boundary Layer Climates*. 2 ed. London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group, 1987, p. 243.





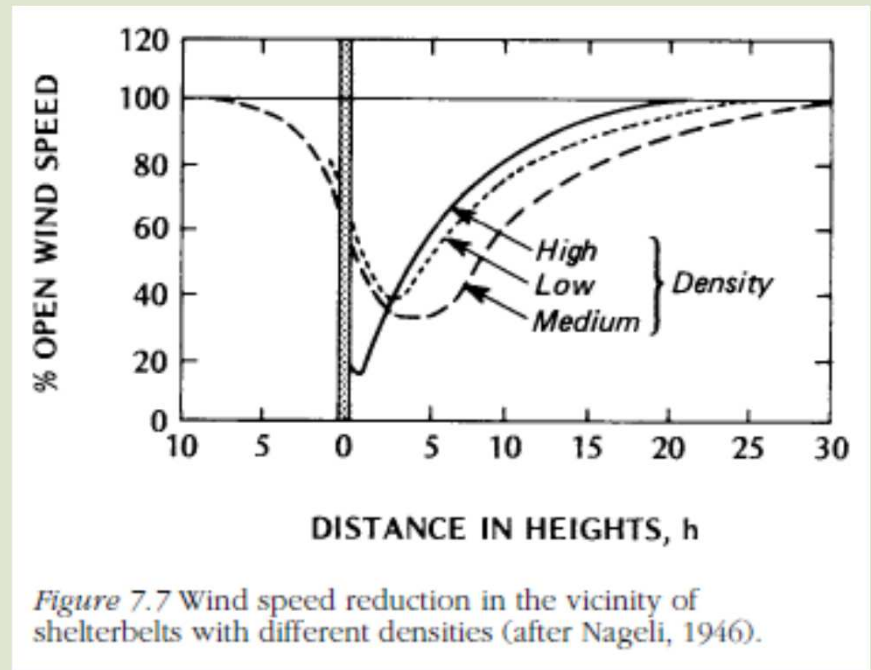
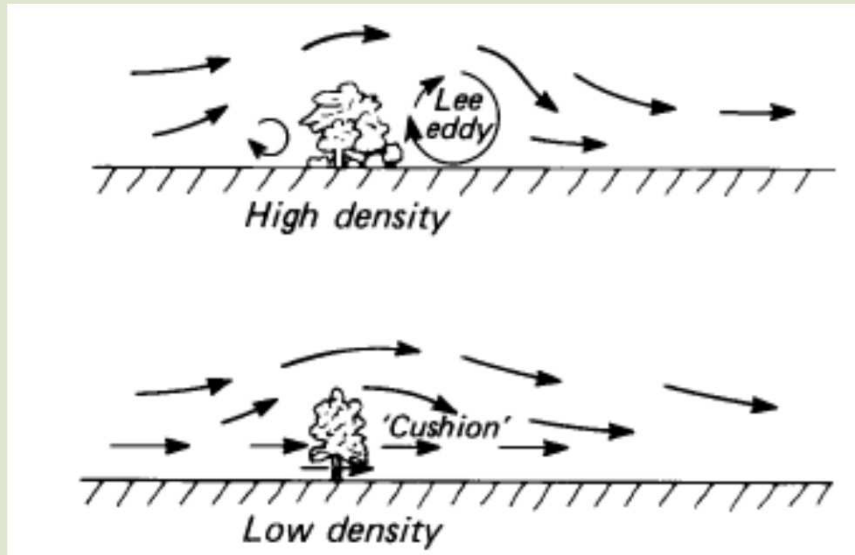


Figure 7.7 Wind speed reduction in the vicinity of shelterbelts with different densities (after Nageli, 1946).

Fonte: OKE, Tim R. *Boundary Layer Climates*. 2 ed. London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group, 1987, p. 244.



Escola Superior de Agricultura

"Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo



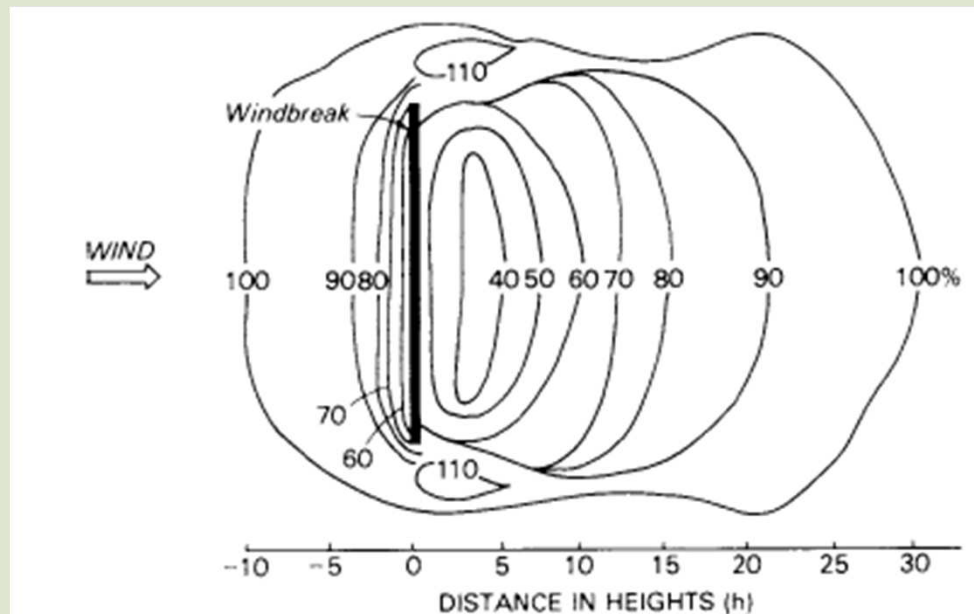


Figure 7.8 Distribution of wind speed in the vicinity of a medium density windbreak. Speeds expressed as a percentage of those in the open.

Fonte: OKE, Tim R. *Boundary Layer Climates*. 2 ed. London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group, 1987, p. 245.



Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz”

Universidade de São Paulo



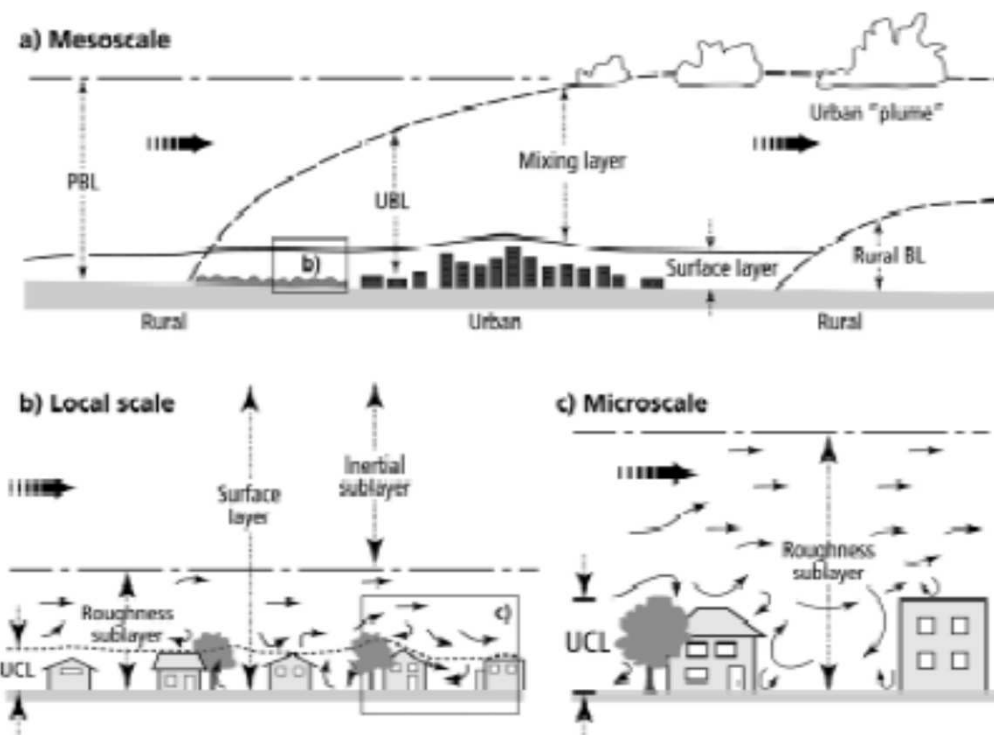


Figure 1 — Schematic of climatic scales and vertical layers found in urban areas. PBL – planetary boundary layer, UBL – urban boundary layer, UCL – urban canopy layer [modified from Oke, 1997]

Fonte: OKE, Tim R. *Inicial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. Instruments and Observing Methods, Report no. 81, WMO/TD-No. 1250, 2006.*





## 274 Boundary Layer Climates

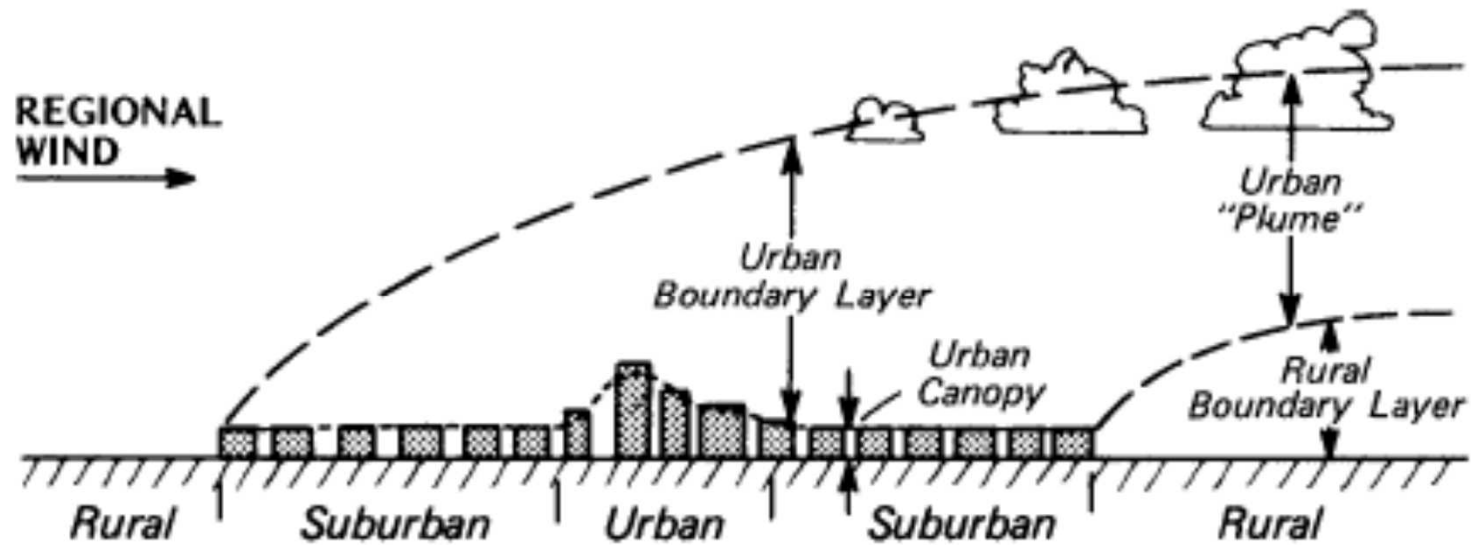


Figure 8.6 Schematic representation of the urban atmosphere illustrating a two-layer classification of urban modification (after Oke, 1976a).

Fonte: OKE, Tim R. *Boundary Layer Climates*. 2 ed. London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group, 1987, p. 245.



## MEDIÇÕES DOS VENTOS – CONCEITOS EM BIBLIOGRAFIA

- A velocidade do vento se mede: com anemômetro de copo, de hélice ou com tubo de Pitot
- A direção do vento se mede com o catavento
- Anemógrafos dão registros contínuos da velocidade do vento e suas mudanças de direção
- As velocidades do vento são usualmente registradas a uma altura de 10m. As velocidades próximas ao solo são mais baixas que a velocidade do vento livre
- Escala de Beaufort (1806): escala da força do vento baseada em observações visuais, ainda utilizada apesar da falta de rigor científico:

Fonte: KOENIGSBERGER, O.H. et al. *Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas e Tropicales*. London; Madrid: Paraninfo, 1977, p. 33.



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo



*Escala de la fuerza del viento de Beaufort*

fuerza	efectos que se observan	velocidad m/s
0	Calma completa, el humo sube verticalmente en línea recta, superficie lacustre tranquila hasta una velocidad de	0,5
1	Ligero movimiento, humo ligeramente inclinado	1,7
2	Brisa ligera, murmullo de las hojas	3-3
3	Viento ligero, se mueven las ramitas, rizos en el agua	5,2
4	Viento moderado, se mueven las ramas pequeñas	7,4
5	Viento fuerte, se mueven grandes ramas, hay bramido, ondas con cresta blanca	9-8
6	Viento muy fuerte, se desprenden las hojas, el andar resulta algo difícil	12,4
7	Vendaval, los árboles pequeños doblan su tronco, las ramitas caen	15,2
8	Vendaval fuerte, pueden romperse ramas, las ramas grandes se doblan	18,2
9	Vendaval muy fuerte, árboles pequeños arrancados de cuajo, las tejas vuelan, edificios con daños	21,5
10	Ventarrón, daños serios en los edificios, árboles partidos o arrancados de cuajo	25,1
11	Ventarrón, edificios destruidos, bosques enteros arrancados de cuajo, hombres y animales elevados y arrastrados	29,0
12	Ventarrón, como el anterior pero más intenso	29,0

Fonte: KOENIGSBERGER, O.H. et al. *Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas e Tropicales*. London; Madrid: Paraninfo, 1977, p. 290.



**Escola Superior de Agricultura**

**"Luiz de Queiroz"**

Universidade de São Paulo





## MEDIÇÕES: CONCEITOS (INMET)

Instrumentos meteorológicos: são equipamentos utilizados para adquirir dados meteorológicos: termômetro (temperatura do ar), barômetro (pressão atmosférica), higrômetro (umidade relativa do ar) etc.

Estação meteorológica - reunião de instrumentos meteorológicos em um mesmo local.

Anemômetro - Instrumento que mede a velocidade e força do vento. Mede a velocidade do vento (em m/s) e, em alguns tipos, também a direção (em graus).

Anemógrafo - Registra continuamente a direção (em graus) e a velocidade instantânea do vento (em m/s), a distância total (em km) percorrida pelo vento com relação ao instrumento e as rajadas (em m/s).

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia



Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz”

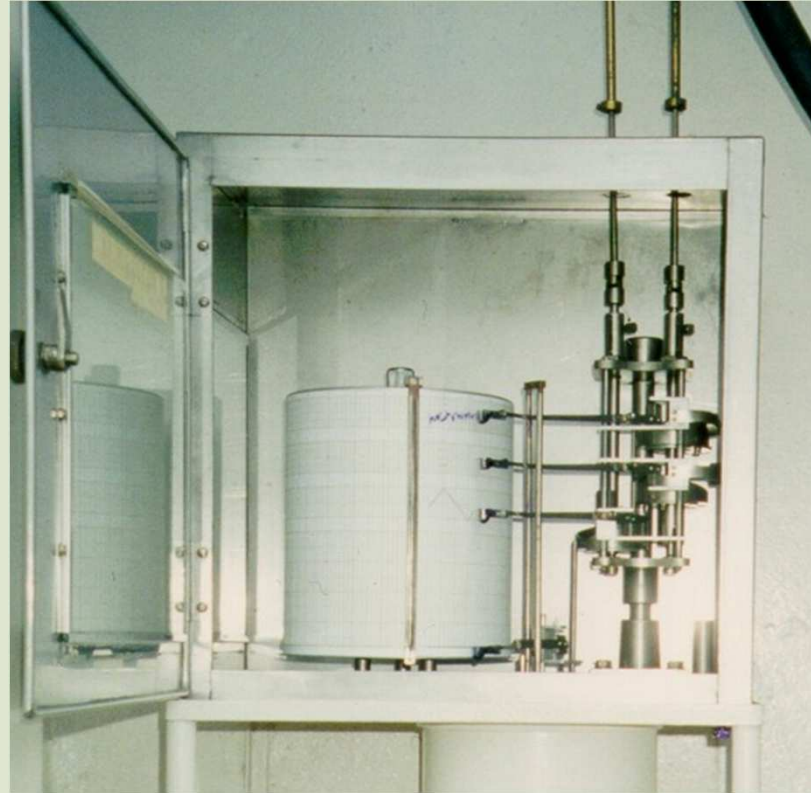
Universidade de São Paulo



## ANEMÔMETRO



## ANEMÓGRAFO



Fonte: INMET



**Escola Superior de Agricultura**

**"Luiz de Queiroz"**

Universidade de São Paulo



## MEDIÇÕES DOS VENTOS: BREVE HISTÓRIA DOS ANEMÔMETROS

**Anemômetro mecânico:** existem registros que atribuem a invenção a Leonardo da Vinci, porém considera-se como o inventor do primeiro anemômetro o humanista italiano Leon Battista Alberti em 1450. Consistia num disco colocado perpendicularmente à direção do vento, e através do ângulo de inclinação do disco era medida a velocidade do vento. Esse mesmo tipo foi mais tarde reinventado por Robert Hooke, inglês, em 1644, muitas vezes também considerado erroneamente como o inventor do primeiro anemômetro.

**Anemômetro de conchas:** ainda hoje largamente utilizado, foi inventado em 1846 por John Thomas Romney Robinson.

**Anemômetro de tubo:** é muitas vezes atribuído a James Lind (1755), embora este não tenha sido o primeiro a desenhá-lo, porque o seu foi considerado o mais prático e assim o mais reconhecido.

**Anemômetro sônico:** inventado pelo geologista Dr. Andreas Pflitsch, em 1994.

Fonte: Universidade de Lisboa, Museus da Politécnica, Meteorologia, postado em 30 de maio de 2009.



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo



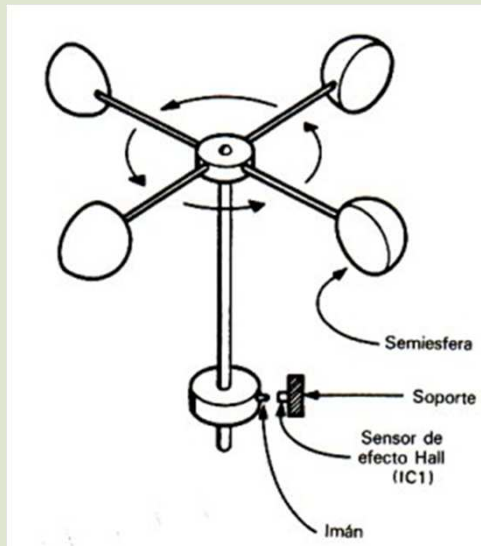


# TIPOS DE ANEMÔMETROS

## 1. DE ROTAÇÃO

- 1.1. SOBRE UM EIXO VERTICAL: DE CONCHAS OU DE PÁS

Modelo mais comum: do tipo rotor horizontal de conchas. Composto por três ou quatro conchas hemisféricas, desenhadas para captar o vento e girar em torno de um eixo vertical. O rotor aciona um mecanismo onde é instalado um sensor eletrônico. A vantagem deste sistema é que ele independe da direção do vento. Também denominado de copo ou de caneco.



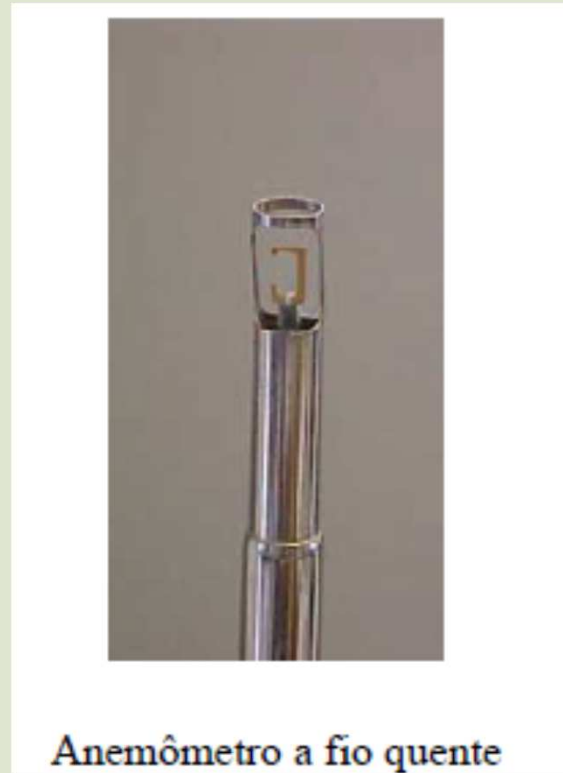
- 1.2. SOBRE UM EIXO HORIZONTAL – DO TIPO HÉLICE

Ao contrário do anemômetro de concha, este tipo exige um eixo de rotação paralelo à direção do vento, ou seja, horizontal. Como o vento muda de direção e este eixo tem de acompanhar essa mudança, este tipo de anemômetro necessita de um cata-vento, colocado no lado oposto ao do moinho, funcionando como uma espécie de leme que é conduzido pelo vento.



## 2. ANEMÔMETRO DE FIO QUENTE

Baseado no resfriamento da resistência do sensor, que indica a velocidade do vento.





### 3. PLATAFORMA DE METAL

Tipo de anemômetro mais antigo, e consiste simplesmente numa placa de metal suspensa pelo topo, de forma que é deformada pela ação do vento. Instrumentos deste tipo não respondem a ventos fracos e são pouco precisos na medida.

### 4. TERMOELÉTRICOS

Baseados no poder refrescante do ar em movimento. São especialmente úteis na detecção de mudanças repentinas na velocidade do vento, especialmente em situações de turbulência.

### 5. TIPO SÔNICO

Através de ondas sonoras, realiza medidas a alta frequência (várias medições por segundo) das três componentes da velocidade do vento (tipo sônico 3D, duas horizontais e uma vertical). Há o tipo mais simples (tipo sônico 2D).

TIPOS DE ANEMÔMETROS - Fontes:

- Universidade de Lisboa, Museus da Politécnica, Meteorologia, postado em 30 de maio de 2009.
- ESALQ/USP- Disciplina LCE 5702 – Métodos instrumentais de Análise Física do Ambiente, trabalhos de Greice Ximena S. Oliveira e Frederico M. C. Vieira



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo





ULTRASÔNICO 2D  
CAMPBELLS  
2-D Ultrasonic Anemometers  
Models WindSonic1, WindSonic4

Wind Direction

Range:  $0^{\circ}$  to  $360^{\circ}$

Accuracy:  $\pm 3^{\circ}$

Resolution:  $1^{\circ}$

Wind Speed

Range: 0 to 60 m s<sup>-1</sup>

Accuracy:  $\pm 2\%$  of reading

Resolution: 0.01 m s<sup>-1</sup>

Mede direção e velocidade dos ventos

Fonte: Catálogo da Campbells



Escola Superior de Agricultura

"Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo





## ULTRASÔNICO 3D

### CAMPBELLS

CSAT3: anemômetro sônico tridimensional (Campbell Scientific Inc.)

Resolução: 0,03ms<sup>-1</sup>

Intervalo operacional: 0 a 30ms<sup>-1</sup>

Constante de tempo: 0,01s

Velocidade do som x

Temperatura: varia de 360 ms<sup>-1</sup> a 50oC a 300ms<sup>-1</sup> a -50oC

Taxa de medida:

programável de 1 a 60 Hz

Fonte: ESALQ/USP- Disciplina LCE 5702 – Métodos instrumentais de Análise Física do Ambiente, trabalho de Greice Ximena S. Oliveira



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo





Anemômetro localizado a 100m de altura para coleta de dados em estudo de viabilidade de instalação de geradores de energia eólica



**Escola Superior de Agricultura**

**"Luiz de Queiroz"**

Universidade de São Paulo



Anemômetro localizado a 100m de altura para coleta de dados em estudo de viabilidade de instalação de geradores de energia eólica



Escola Superior de Agricultura

"Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo



O Conjunto de Sensores Integrados sem fio Vantage Vue™ coleta dados meteorológicos externos e os envia (sem a utilização de fios) a um console Vantage Vue via rádio de baixa potência.

O Conjunto de Sensores Integrados é alimentado por energia solar e inclui bateria reserva.

O Conjunto de Sensores Integrados Vantage Vue contém coletor de chuva, sensor de umidade/temperatura, anemômetro e sensor de direção do vento. O sensor de umidade/temperatura é montado em um anteparo contra radiação passivo para minimizar o impacto da radiação solar nas leituras do sensor.

O anemômetro mede a velocidade do vento e o sensor mede a direção do vento.

O Módulo de Interface do Sensor (SIM) está localizado dentro do Conjunto de Sensores Integrados e inclui os “cérebros” do sistema Vantage Vue e o transmissor de rádio. O SIM coleta dados meteorológicos externos e os transmite para o seu console Vantage Vue.

Fonte: Catálogo do produto



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo

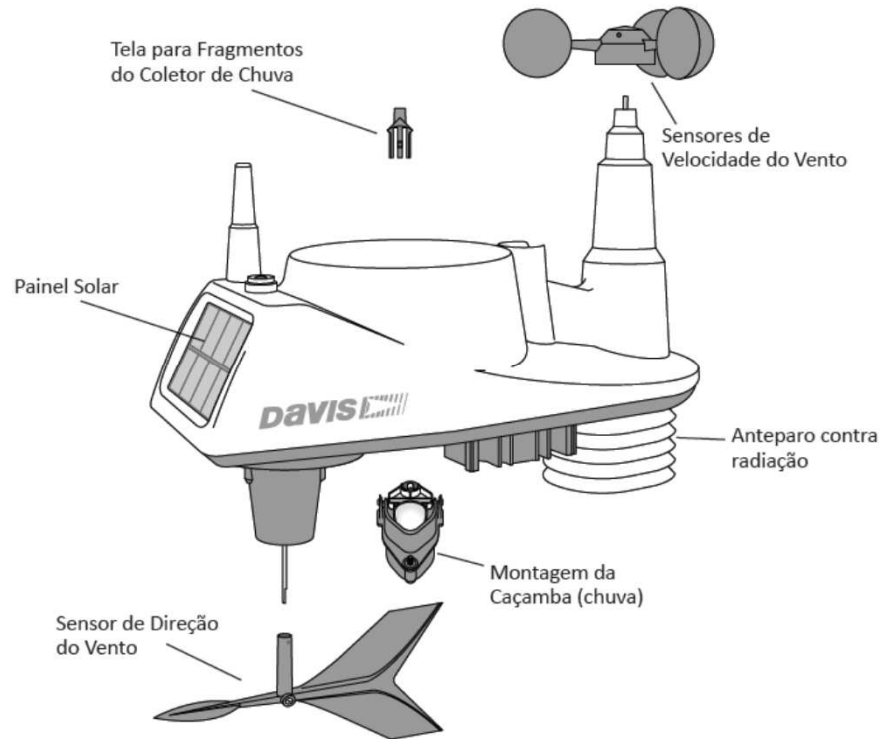




# Coletor de Dados: Conjunto de Sensores Integrados

## Partes Inclusas e Hardware

### Partes do Conjunto de Sensores Integrados Vantage Vue



4

**ZURS**  
Tecnologias aplicadas

**DAVIS™**  
Vantage Vue™

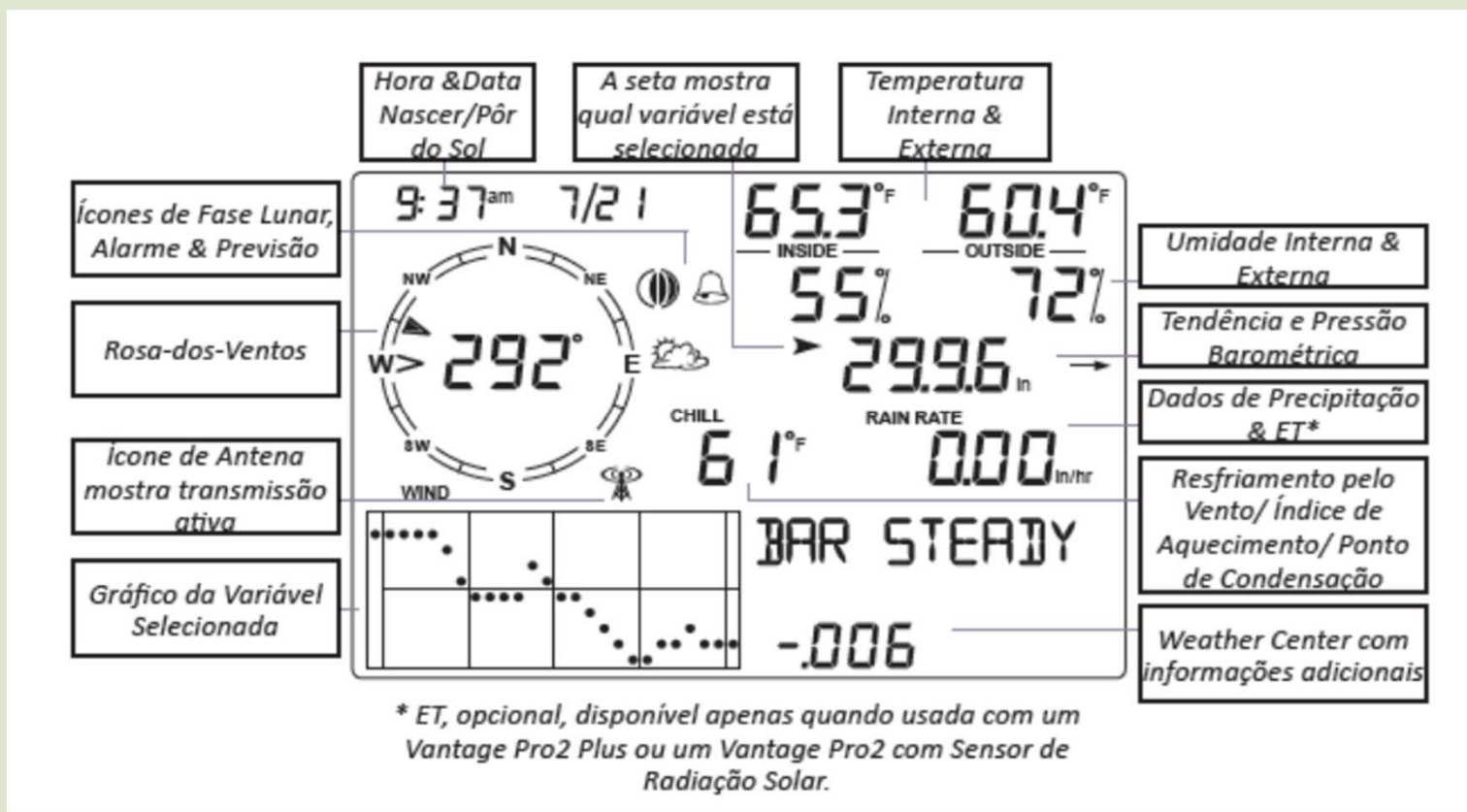
Fonte: Catálogo do produto



**Escola Superior de Agricultura**  
**“Luiz de Queiroz”**  
Universidade de São Paulo



Visor do console sem fio  
(ideal deixar a 3m de distância do Conjunto de Sensores Integrados)



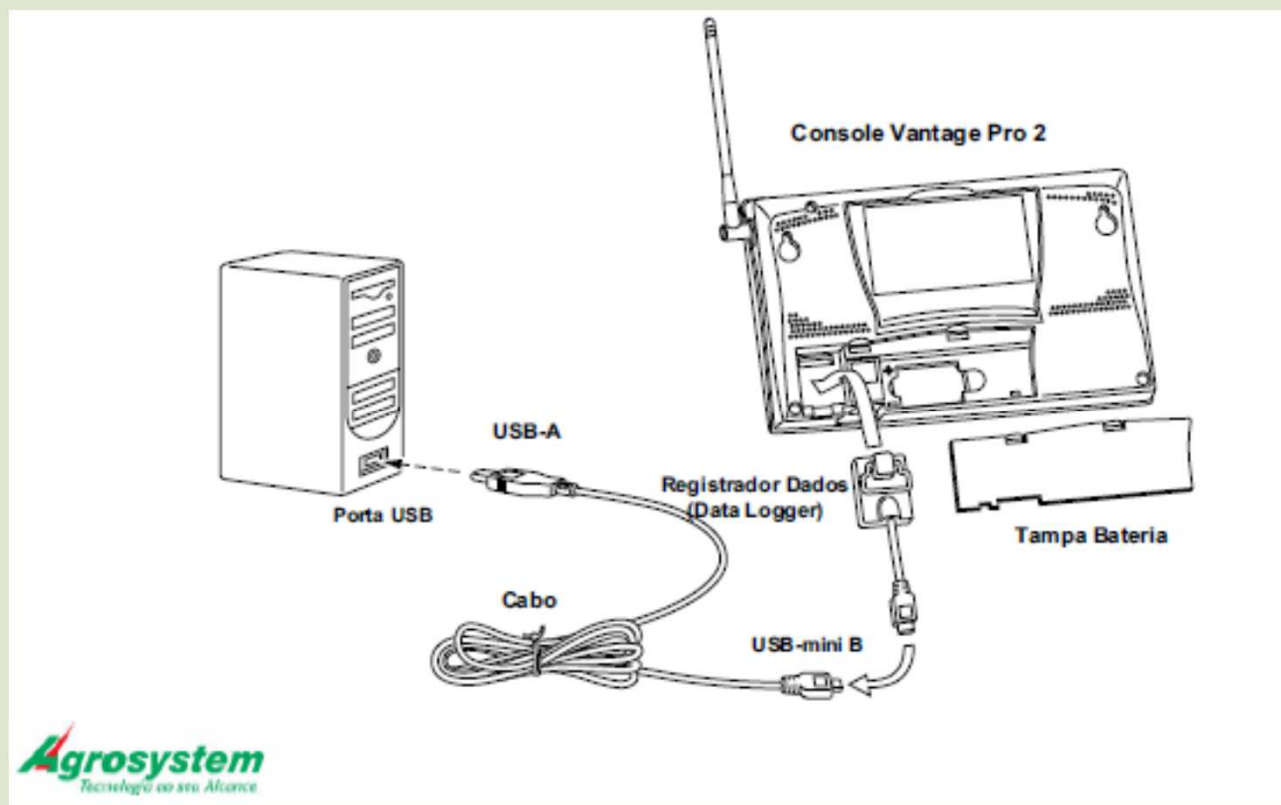
Fonte: Catálogo do produto



Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz"  
Universidade de São Paulo



## Transferência dos dados do console (Data Logger) para o computador



Fonte: Catálogo do produto



**Escola Superior de Agricultura**  
**"Luiz de Queiroz"**  
Universidade de São Paulo



## Especificações relativas à precisão do equipamento (quanto aos ventos)

Manual do console

Vantage Vue™



### Especificações de Dados Meteorológicos

**Observação:** As especificações de dados meteorológicos a seguir estão listadas exatamente como são exibidas no console.

#### *Especificações de Dados Meteorológicos*

Variável	Resolução	Alcance	Precisão Nominal (+/-)
Direção do Vento	1°	0 a 360°	3°
Rosa-dos-Ventos	22,5°	16 pts.	
Velocidade do Vento	1 mph; 1 nó; 0,5 m/s; 1 km/h	2 a 150 mph; 2 a 130 nós 3 a 241 km/h, 1 a 67 m/s	Acima de 2 mph/nós; 1 m/s; 3 km/h ou 5%

Fonte: Catálogo do produto. Dados adicionais em [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com)



Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz”

Universidade de São Paulo





## Especificações relativas ao limite mínimo de intervalo de atualização

INTERVALO DE ATUALIZAÇÃO POR SENSOR		
BAR	Pressão Barométrica	1 min.
UMIDADE	Umidade Interna	1 min.
	Umidade Externa	50 seg.
	Ponto de Condensação	10 seg.
CHUVA	Quantidade de precipitação	20 seg.
	Quantidade de Tempestade	20 seg.
	Taxa de Precipitação	20 seg.
TEMPERATURA	Temperatura Interna	1 min.
	Temperatura Externa	10 seg.
	Índice de Aquecimento	10 seg.
	Resfriamento pelo Vento	10 seg.
VENTO	Velocidade do Vento	2,5 seg.
	Direção do Vento	2,5 seg.
	Direção de Alta Velocidade	2,5 seg.

Fonte: Catálogo do produto. Dados adicionais em [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com)



Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz”

Universidade de São Paulo



# Helena Cristina Padovani Zanlorenzi

Arquiteta - Mestranda em Clima Urbano - Depto. de Ciências Florestais - ESALQ USP

Orientador: Prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho

Junho 2013



**Escola Superior de Agricultura**

**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo

