

Construção e calibração de anemômetros de baixo custo

Construction and calibration of low cost anemometers

Célio Orli Cardoso¹, Carlos Augusto de Paiva Sampaio², Antônio Orben Bianco³, Denis Piazzoli³

Recebido em 22/09/2008; aprovado em 23/09/2009.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi construir e calibrar anemômetros de baixo custo para a caracterização do vento na Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV). Foram construídos dois anemômetros do tipo Robinsom com três e quatro conchas e um micro-anemômetro de quatro conchas. A construção seguiu os critérios técnicos quanto às dimensões e funcionamento, porém com o emprego de materiais de baixo custo e uso de mão de obra artesanal que contemplou os serviços de moldagem e ajustes gerais. O projeto foi desenvolvido nos setores de Meteorologia e Mecanização do CAV/UDESC, em Lages, Santa Catarina. Para a calibração dos medidores foi construído um túnel de vento, segundo normas técnicas da National Association of Fan Manufactures. Foram testados os anemômetros anteriormente citados, bem como um anemômetro de fábrica tipo Robinsom, obtendo-se as seguintes relações com a velocidade média do medidor padrão: $V_p = 1,01 V_m + 2,09$ ($R^2 = 0,96$), $V_p = 1,09 V_m + 5,32$ ($R^2 = 0,84$), $V_p = 0,98 V_m + 1,36$ ($R^2 = 0,92$) e $V_p = 1,17 V_m + 1,81$ ($R^2 = 0,95$), onde V_p é a velocidade média do medidor padrão (km h^{-1}) e V_m a velocidade média do anemômetro testado (km h^{-1}), correspondendo ao anemômetro de quatro conchas, de três conchas, micro-anemômetro e anemômetro de fábrica, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: vento, anemômetro, velocidade do vento.

SUMMARY

This work was carried out aiming to build and calibrate low cost anemometers to measure the wind speed in the Agrometeorological CAV station. Two Robinsom anemometers with three and four shells and one small anemometer with four shells were built. The construction procedure followed technical approaches regarding to the dimension and operation relationship, employing materials of low cost and the use of manufacture work. The project was performed in the Meteorology and Mechanization section of CAV/UDESC, in the city of Lages, southern Brazil. A wind tunnel was built according to technical norms of National Association of Fan Manufactures to calibrate the meters. A factory Robinsom anemometer type was also tested. The following relations with the average velocity to the standard meter were obtained: $V_p = 1.01 V_m + 2.09$ ($R^2 = 0.96$), $V_p = 1.09 V_m + 5.32$ ($R^2 = 0.84$), $V_p = 0.98 V_m + 1.36$ ($R^2 = 0.92$) and $V_p = 1.17 V_m + 1.81$ ($R^2 = 0.95$), where V_p is the average speed of the standard meter (km h^{-1}) and V_m is the average speed of the tested anemometer (km h^{-1}), corresponding to the anemometer of four shells, three shells, the small anemometer of four shells and the factory anemometer, respectively.

KEY WORDS: wind, anemometer, wind speed.

¹ Eng. Agrônomo, Dr., Prof. Depto de Agronomia, Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC - Lages SC, CEP: 88500-000. E-mail: a2coc@cav.udesc.br.

² Eng. Agrícola, Prof. Dr. Depto. de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV - UDESC - Lages SC.

³ Acadêmico de Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica, Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV - UDESC - Lages SC.

INTRODUÇÃO

O vento é das variáveis atmosféricas mais instáveis, mudando em pequenos intervalos de tempo sua direção e velocidade, atingindo valores extremos e em seguida podendo ocorrer uma prolongada calmaria, e por isso torna-se de extrema importância em vários segmentos das atividades humanas, em especial na agricultura. Nesta, o vento tem grande influência no desenvolvimento e crescimento das plantas, basicamente sob três aspectos: transpiração, absorção de CO₂ e efeitos mecânicos nas folhas, galhos e caule.

Segundo Tubelis et al. (1987), o vento pode ser definido como o movimento de massas de ar seco e úmido em relação à superfície da Terra (movimento horizontal do ar resultante da advecção), que são provocados por diferença de potencial de pressão atmosférica entre duas regiões, devido ao aquecimento diferencial de locais próximos ou distantes da superfície da Terra, mas também sofrem influências modificadoras do movimento de rotação da Terra, da força centrífuga ao seu movimento e do atrito com a superfície terrestre. Em geral as massas se deslocam de um ponto de alta pressão para um ponto de baixa pressão. Em consequência do atrito entre a massa de ar em deslocamento e a superfície do solo, a velocidade do vento diminui com a diminuição da altura, sendo nula junto à superfície.

Segundo Mota (1979), a ocorrência de ventos constantes pode acarretar fatores desfavoráveis à cultura, tais como aumento da evapotranspiração, diminuição da umidade do solo e das camadas de ar sobrejacentes, maior amplitude térmica no perfil do solo e do ar, maiores quebras mecânicas na planta e, portanto, favorecimento a ataques de pragas e doenças. Influid, também, sobre a irrigação por aspersão e pulverização, provocando o fenômeno da deriva de partículas. Na engenharia rural, para o planejamento de construções e manejo do conforto ambiental nas edificações para animais e vegetais, estando intimamente relacionado com a preservação de um ambiente agradável, tanto referente à temperatura quanto nas taxas de gases nocivos, através da circulação do ar (ventilação).

Os parâmetros medidos para a caracterização do vento são: velocidade, direção e sentido e força

do vento. A medida do vento é realizada a partir de um efeito físico originado a partir do movimento do ar, como a pressão e a energia cinética do fluido ou a troca de calor entre o fluido e um corpo quente, gerando no aparelho algum efeito físico, como movimento de conchas, deflexão de um metal, resfriamento de um corpo, etc (OWER et al., 1977; ROSENBERG et al., 1983). Dentre os instrumentos de medição do vento, os mais comuns em estações convencionais são: cata-vento tipo Wild, anemômetro de conchas e anemógrafo universal. Com o presente trabalho teve-se como objetivos a construção e calibração de medidores de vento (Anemômetros) de baixo custo, que serão posteriormente instalados na Estação Agrometeorológica do CAV para o monitoramento e caracterização do vento na região.

MATERIALE MÉTODOS

O trabalho foi conduzido nos Laboratórios de Agrometeorologia e Mecanização Agrícola do Departamento de Agronomia do CAV/UEDESC, localizado em Lages, SC, cujas coordenadas geográficas são: 27° 49' sul e 50° 20' oeste e altitude de 938 metros. Foram construídos dois anemômetros em PVC, com três e quatro conchas que são dispostas horizontalmente e fixadas radialmente no cabeçote moldado com massa epóxi de modelar, constituindo o mecanismo de detecção da velocidade do vento, e um micro-anemômetro de quatro conchas, além disso, efetuou-se a calibração de um anemômetro de fábrica do tipo Robinsom (Figura 1).

O material utilizado na construção dos anemômetros foi massa epóxi, pedaços de tubos de PVC e conexões (caps), pedaços de ferro circular de ½", eixo roscado, rolamentos, conchas de cozinha com formato hemisférico, bolinhas plásticas e ciclo computador com sensor magnético. Para a construção dos anemômetros foram necessárias as tarefas de modelagem de massa epóxi, ajustagem dos eixos e braços das conchas, lixamento e soldagem dos canos de PVC e fixação do medidor digital ao corpo do aparelho. O medidor digital de velocidade (ciclo computador) é um velocímetro compacto do tipo usado para ciclismo, com visor de cristal líquido e sensor eletromagnético. Segundo Sampaio (1998), seu princípio de funcionamento baseia-se nas Leis de



Figura 1 - Anemômetros de baixo custo e anemômetro tipo Robinsom de Fábrica. Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV - UDESC. Lages, 2008.

Faraday e de Lens do eletromagnetismo, que enunciam: "toda vez que houver uma variação do campo magnético e próximo deste campo existir um condutor elétrico, aparecerá, no condutor, uma força de natureza elétrica". Assim, ao passar próximo ao sensor, o ímã ocasionará a formação de um sinal de natureza elétrica no interior do medidor, que será reconhecida por um conjunto de transistores (circuito integrado), sendo este sinal convertido em velocidade no velocímetro. Para a calibração dos anemômetros foi usado um túnel de vento, construído segundo as

normas da National Association of Fan Manufacturers - NAFM (1952). As leituras padrões das velocidades médias e instantâneas foram efetuadas utilizando um termo-anemômetro digital, marca ALNOR, modelo GCA-65, cujos sensores são uma resistência de níquel de 10Ω e um termistor aquecido, respectivamente, alimentados com corrente contínua de 200 mA, tensão de 3,6 VDC, que foi denominado de anemômetro padrão. Foram realizados os ensaios no túnel de vento submetendo o anemômetro digital (medidor padrão calibrado) e os anemômetros a

Tabela 1- Relação de material e respectivo custo (agosto de 2007, em R\$) para a construção dos anemômetros de três conchas, de quatro conchas e do micro-anemômetro. Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UEDESC. Lages, 2008.

Medidor	Material	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Custo total
Anemômetro de três conchas	Conchas de sopa	Peça	2,00	3	6,00
	Barra roscada 1/4"	Peça	1,60	¼ barra=20 cm	0,40
	Rolamento universal-607	Peça	12,00	2	24,00
	Tubo PVC DN 20 mm	Barra	6,60	20 cm	0,25
	Tubo PVC DN 100 mm	Barra	30,00	20 cm	1,00
	Cap PVC DN 100 mm	Peça	3,15	2	6,30
	Chapa de zinco	m ²	20,00	0,0225	0,45
	Barra roscada ½"	Peça	7,80	¼ barra=20 cm	1,95
	Porca ½"	Peça	0,30	32	9,60
	Arruelas	Peça	0,05	32	1,60
	Rebites	Peça	0,05	5	0,25
	Massa epóxi	kg	30,00	0,1	3,00
	Ciclo computador	Peça	50,00	1	50,00
	Total				
Anemômetro de quatro conchas	Conchas de sopa	Peça	2,00	4	8,00
	Barra roscada 1/4"	Peça	1,60	¼ barra=20 cm	0,40
	Rolamento universal-607	Peça	12,00	2	24,00
	Tubo PVC DN 25 mm	Barra	6,60	20 cm	0,25
	Tubo PVC DN 100 mm	Barra	30,00	20 cm	1,00
	Cap PVC DN 100 mm	Peça	3,15	2	6,30
	Chapa de zinco	cm ²	20,00	225	0,45
	Barra roscada ½"	Peça	7,80	¼ barra=20 cm	1,95
	Porca ½"	Peça	0,30	32	9,60
	Arruelas	Peça	0,05	32	1,60
	Arrebites	Peça	0,05	5	0,25
	Massa epóxi	kg	30,00	0,1	3,00
	Ciclo computador	Peça	50,00	1	50,00
	Total				
Micro-anemômetro de quatro conchas	Bolinhas plásticas	Peça	0,50	4	2,00
	Barra roscada 1/4"	Peça	1,60	¼barra=20 cm	0,40
	Rolamento universal-607	Peça	12,00	2	24,00
	Tubo PVC DN 20 mm	Barra	6,60	20 cm	0,25
	Tubo PVC DN 50 mm	Barra	20,00	20 cm	0,70
	Cap PVC DN 50mm	Peça	1,40	2	2,80
	Chapa de zinco	m ²	20,00	0,0144	0,30
	Barra roscada ½"	Peça	7,80	¼ barra=20 cm	1,95
	Porca ½"	Peça	0,30	32	9,60
	Arruelas	Peça	0,05	32	1,60
	Arrebites	Peça	0,05	5	0,25
	Massa epóxi	kg	30,00	0,1	3,00
	Ciclo computador	Peça	50,00	1	50,00
	Total				
Anemômetro de fábrica tipo Robinsom com três conchas				Custo R\$	1800,00

calibrar as distintas condições de velocidade do vento. Coletou-se as medidas de velocidade média em períodos de 60 segundos para cada velocidade ensaiada. Foram obtidas também as velocidades instantâneas no instante 30 segundos de cada velocidade ensaiada. Testou-se os anemômetros para diferentes valores de número gerador do ciclo computador (denominado de constante do aparelho) o qual depende do perímetro formado pela circunferência imaginária definida pelo giro das conchas. Obteve-se as equações que relacionam a leitura dos anemômetros de conchas com a medida da velocidade do vento no medidor padrão, bem como o valor adequado da constante do aparelho para o melhor ajuste estatístico pelo coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a construção dos anemômetros (tipo Robinsom) com três e quatro conchas e do micro-anemômetro de quatro conchas foram usados os seguintes materiais com respectivos custos, em reais,

apresentados na Tabela 1. O uso de massa epóxi, em substituição ao metal, dispensou a necessidade dos trabalhos de tornearia e furação, tarefas que resultariam em custos adicionais. O medidor digital de velocidade (ciclo computador) que é um velocímetro compacto, permite obter a medida da velocidade instantânea, máxima e média num visor de cristal líquido. O custo total dos anemômetros, em torno de R\$ 100,00 (cem reais), não considerando o valor da mão de obra, foi sensivelmente inferior ao valor do anemômetro de fábrica, em torno de R\$ 1800,00 (um mil e oitocentos reais) correspondendo aproximadamente a 5,56%. Os gráficos apresentados na Figura 2 ilustram as relações obtidas com as velocidades médias em 60 segundos, seus coeficientes de determinação (R^2) e a comparação com a reta de inclinação 1:1. Quanto as velocidades médias dos anemômetros, obteve-se os seguintes resultados em relação ao medidor padrão: $V_p = 1,01 V_m + 2,09$ ($R^2 = 0,96$), $V_p = 1,09 V_m + 5,32$ ($R^2 = 0,84$), $V_p = 0,98 V_m + 1,36$ ($R^2 = 0,92$) e $V_p = 1,17 V_m + 1,81$ ($R^2 = 0,95$), onde, V_p é a velocidade média do vento do medidor padrão (km h^{-1}) e V_m é a velocidade

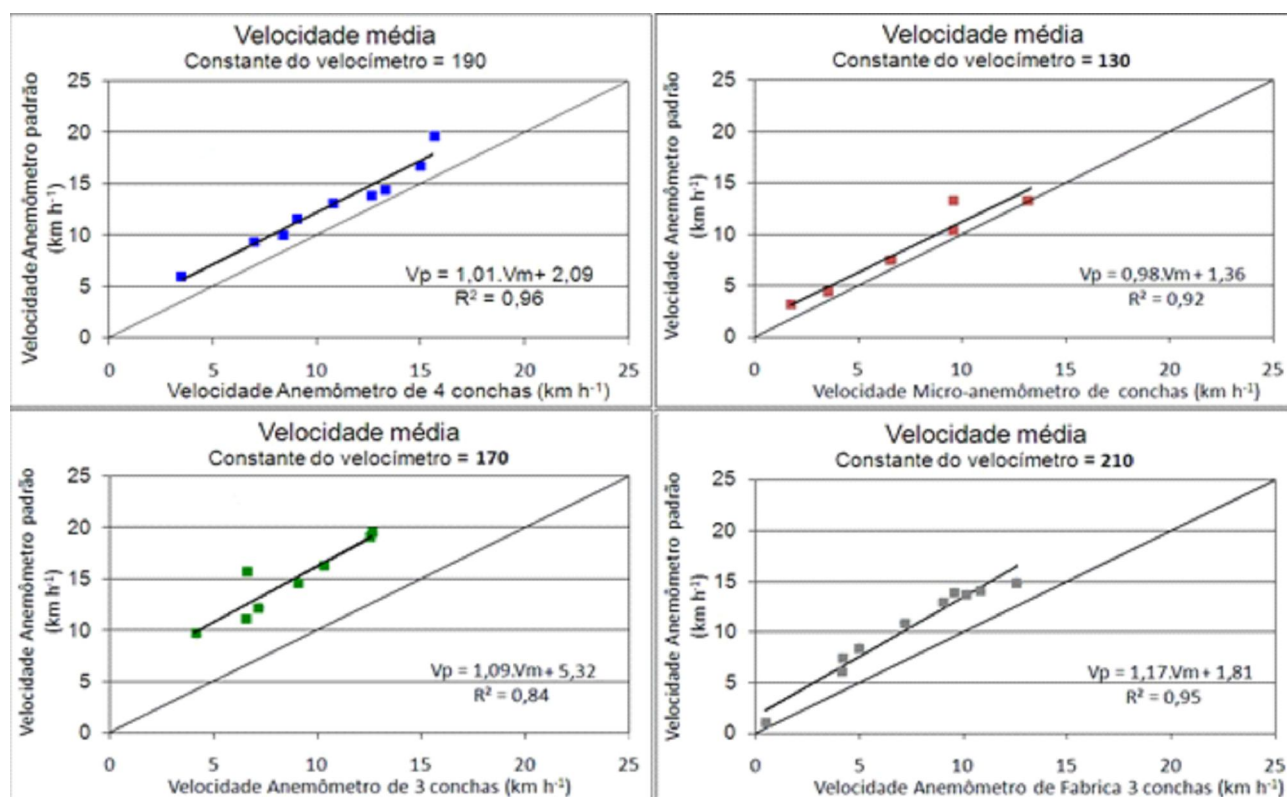


Figura 2 - Relações das velocidades médias (60 segundos) obtidas na calibração dos anemômetros de quatro conchas, três conchas, micro-anemômetro e anemômetro de fábrica com três conchas. Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UEDESC. Lages, 2008.

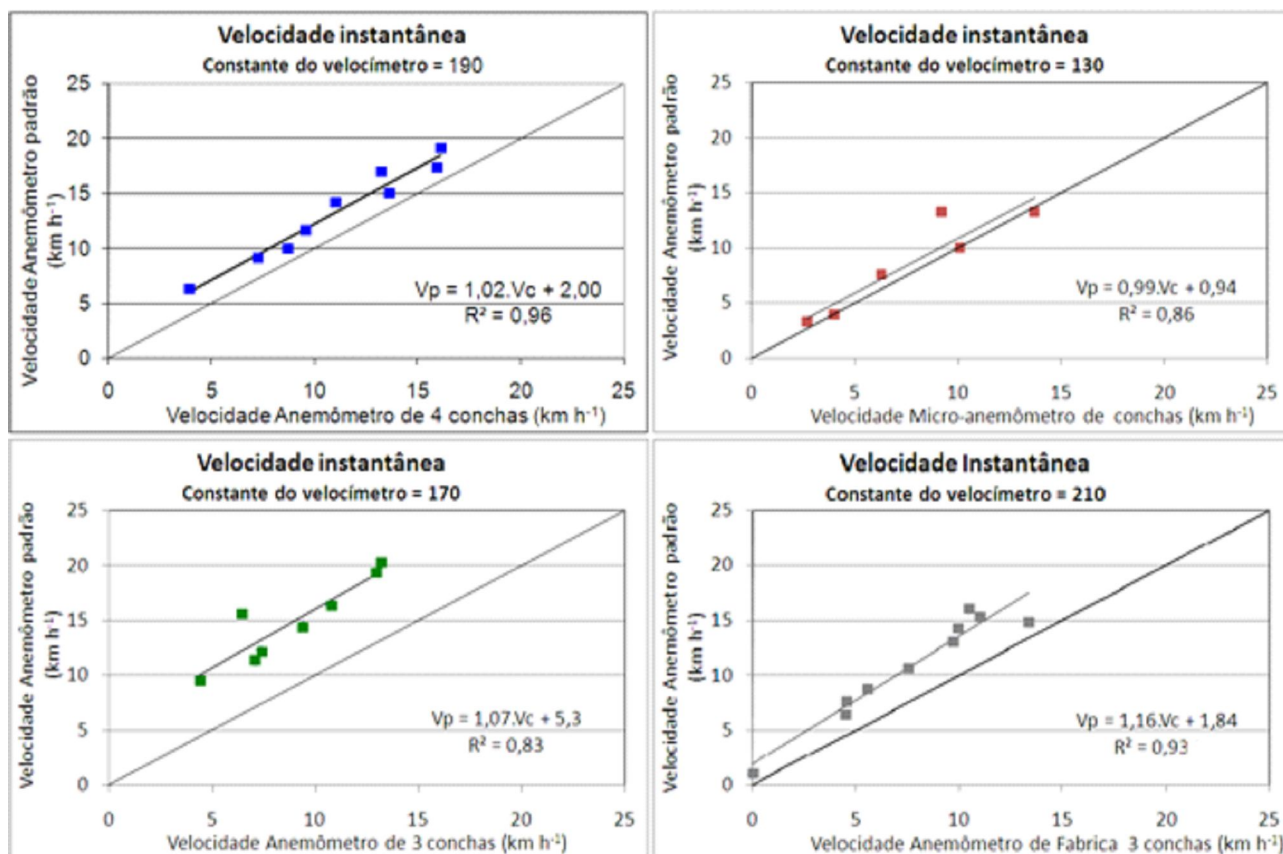


Figura 3 - Relações das velocidades instantâneas obtidas na calibração dos anemômetros de quatro conchas, três conchas, micro-anemômetro e anemômetro de fábrica com três conchas. Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UEDESC. Lages, 2008.

média do vento no anemômetro testado (km h⁻¹), sendo, anemômetro de quatro conchas, de três conchas, micro-anemômetro e anemômetro de fábrica tipo Robinsom, respectivamente. Quanto às velocidades instantâneas (Figura 3) obteve-se os seguintes resultados em relação ao medidor padrão: $V_p = 1,02 V_m + 2,00$ ($R^2 = 0,98$), $V_p = 1,07 V_m + 5,30$ ($R^2 = 0,83$), $V_p = 0,99 V_m + 0,94$ ($R^2 = 0,86$) e $V_p = 1,16 V_m + 1,84$ ($R^2 = 0,93$), onde, V_p é a velocidade instantânea do vento do medidor padrão (km h⁻¹) e V_m é a velocidade do vento do anemômetro testado (km h⁻¹), sendo anemômetro de quatro conchas, de três conchas, micro-anemômetro e anemômetro de fábrica tipo Robinsom, respectivamente. Em geral a leitura direta dos anemômetros testados subestimaram os valores de velocidade média e instantânea do vento, necessitando de correções, para a correta medição desta variável meteorológica na Estação Agrometeorológica do CAV/UEDESC.

CONCLUSÕES

O uso do PVC nas estruturas dos medidores resultou em menor custo final dos mesmos. A troca da cruzeta metálica, que acarretaria em serviços de tornearia, pela cruzeta modelada com massa epóxi, também resultou em redução de custos. Os medidores de velocidade de vento de baixo custo construídos segundo Robinsom (conchas ou canecas) quando submetidos a calibração apresentaram resultados satisfatórios que permitem sua aplicação como medidores do vento na Estação Agrometeorológica do CAV/UEDESC em Lages.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MOTA, F. S. da. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1979. 376 p.
 NAFM - National Association of Fan Manufactures. **Standards, definitions, terms and test codes for**

centrifugal, axial and propeller fans. 2. ed. Detroit, 1952. Bulletin, 110.

OWER, E.; PANKHURST, R. C. **The measurement of air flow.** 5.ed. New York: Pergamon, 1977. 374p.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate:** the biological environment. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1983. 495p.

SAMPAIO, C.A.P. Desenvolvimento e avaliação de um anemômetro totalizador de conchas com leitura digital. In: Seminário Catarinense de Iniciação Científica, 7., Lages, 1998. **Resumos...** Lages: CAV/ UDESC, 1998. p.1.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva:** fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1987.