

ISSN 1677-9274

Introdução ao uso de Sistemas Automáticos de Aquisição de Dados na Agrometeorologia



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto

Presidente

Silvio Crestana

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Paterniani

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Silvio Crestana

Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Tatiana Deane de Abreu Sá

Diretores-Executivos

Embrapa Informática Agropecuária

Eduardo Delgado Assad

Chefe-Geral

José Ruy Porto de Carvalho

Chefe-Adjunto de Administração

Kleber Xavier Sampaio de Souza

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Deise Rocha Martins dos Santos Oliveira

Supervisor da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 1677-9274
Dezembro, 2005*

Documentos 56

Introdução ao uso de Sistemas Automáticos de Aquisição de Dados na Agrometeorologia

Fábio Ricardo Marin

Campinas, SP
2005

Embrapa Informática Agropecuária
Área de Comunicação e Negócios (ACN)

Av. André Tosello, 209
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
13083-970 – Campinas, SP
Telefone (19) 3789-5743 – Fax (19) 3289-9594
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>
e-mail: sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Adriana Farah Gonzalez (secretária)
Ivanilde Dispato
Kleber Xavier Sampaio de Souza (presidente)
Luciana Alvim Santos Romani
Marcia Izabel Fugisawa Souza
Renato Fileto
Stanley Robson de Medeiros Oliveira

Suplentes

José Iguelmar Miranda
Laurimar Gonçalves Vendrusculo
Maria Goretti Gurgel Praxedis
Silvio Roberto Medeiros Evangelista

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispato*
Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*
Editoração eletrônica: *Área de Comunicação e Negócios (ACN)*

1ª. edição on-line - 2005

Todos os direitos reservados.

Marin, Fábio Ricardo.

Introdução ao uso de sistemas automáticos de aquisição de dados na agrometeorologia / Fábio Ricardo Marin. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2005.
28 p. : il. — (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária ; 56).

ISSN 1677-9274

1. Agrometeorologia. I. Título. II. Série.

CDD — 630.2515 (21st. Ed.)

Autor

Fábio Ricardo Marin

Dr. em Agrometeorologia, Pesquisador da Embrapa
Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041,
Barão Geraldo
13083-970 - Campinas, SP
Telefone: (19) 3789-5789
e-mail: marin@cnptia.embrapa.br

Apresentação

Para a pesquisa agropecuária e, especialmente, para a agrometeorologia, a coleta contínua e o armazenamento de grande quantidade de dados são atividades essenciais para a obtenção de dados ambientais. Atualmente, o desenvolvimento de sistemas automáticos de aquisição permitiu ampliar a freqüência de coleta e o período de armazenamento de dados e, simultaneamente, reduzir os custos para a execução de experimentos e para o monitoramento ambiental.

Nos últimos anos, têm-se observado que as aplicações dos sistemas automáticos de aquisição de dados na pesquisa agropecuária vêm aumentando continuamente, exigindo dos usuários noções mínimas sobre aquisição, processamento e armazenamento de dados, tipos e configurações de sistemas.

O presente trabalho, como texto introdutório, pretende apresentar sucintamente ao leitor diferentes aspectos envolvidos no uso de sistemas automáticos de aquisição de dados na pesquisa agropecuária, com ênfase para o monitoramento agrometeorológico.

Eduardo Delgado Assad
Chefe-Geral

Sumário

Introdução.....	9
Aquisição Automática de Dados.....	10
Processamento e Armazenamento de Dados.....	13
Principais Grandezas de Interesse na Agrometeorologia..	15
Temperatura do Ar.....	15
Umidade do Ar.....	21
Radiação Solar.....	22
Velocidade do Vento.....	24
Chuva.....	25
Referências Bibliográficas.....	27

Introdução ao uso de Sistemas Automáticos de Aquisição de Dados na Agrometeorologia

Fábio Ricardo Marin

Introdução

Dados, informações, conhecimento e sabedoria são as denominações comumente utilizadas para a classificação didática da hierarquia das informações que constituem o conhecimento humano. Os dados são definidos como símbolos brutos, sem significado maior além da sua própria existência, mas, constituem a base fundamental do conhecimento científico. Tendo em vista este enfoque, este texto busca descrever e discutir tecnicamente as características e aplicações dos sistemas automáticos de aquisição de dados especialmente quando o objetivo é descrever fenômenos naturais.

A descrição de fenômenos naturais envolve a realização de medidas que devem ser obtidas seguindo protocolos bem estabelecidos e expressas de uma maneira clara. A agrometeorologia é uma divisão de meteorologia que estuda a influência das condições atmosféricas sobre o ambiente rural. A atmosfera, por sua vez, é um sistema dinâmico em contínua movimentação e, para seu estudo e descrição, normalmente necessita-se do monitoramento contínuo de diversas variáveis. Daí a grande variedade de aplicações e o uso intensivo de sistemas automáticos de aquisição de dados nesse ramo da ciência. Para as aplicações que necessitem de medidas acuradas de variáveis que possam ser expressas na forma de um sinal elétrico, esses sistemas são uma opção confiável e, normalmente, de fácil uso. Principalmente a partir do início dos anos 90, o desenvolvimento de sistemas de aquisição capazes de coletar, processar e armazenar grande quantidade de dados com custo relativamente baixo permitiu ampliar o alcance da pesquisa agrometeorológica e melhorar os resultados obtidos.

A pequena necessidade de manutenção e os custos relativamente baixos dos sistemas de aquisição modernos também são fatores que contribuem para a sua

disseminação na pesquisa agropecuária. Especialmente na agrometeorologia, é necessário o monitoramento contínuo de grandezas ambientais com elevada frequência de medida, inviabilizando qualquer outra forma de aquisição e armazenamento que não seja a automática.

Este texto introdutório tem o objetivo de facultar a ecólogos, engenheiros agrônomos e florestais noções básicas sobre os tipos de sistema de aquisição e sobre as peculiaridades envolvidas na medida das grandezas de maior interesse para a pesquisa agrometeorológica.

Aquisição Automática de Dados

Medida consiste em determinar uma grandeza física por sua relação com outra grandeza que pode ser quantificada de forma mais fácil. No passado, meios mecânicos e óticos foram utilizados para a realização de medidas, mas atualmente os sinais elétricos são as formas principais para a realização de medidas ambientais. Segundo Lang (1987), as principais vantagens advindas do uso de sinais elétricos e sistemas automáticos de aquisição de dados para a realização de medidas são as seguintes: apresentam baixo consumo de energia; permitem obter medidas com alta frequência temporal; apresentam grande flexibilidade para a transmissão/transfêrencia dos dados; têm alta confiabilidade e grande versatilidade de aplicações.

O propósito de um sistema de aquisição de dados é fornecer ao observador um valor que represente a condição de uma grandeza física num dado instante. Uma parte importante de um sistema de aquisição de dados, portanto, é aquela que trata da medição propriamente dita do sinal eletro-eletrônico e que, segundo Bentley (1992), é composta pelos seguintes elementos: 1) elemento sensor; 2) elemento condicionador de sinal; 3) elemento processamento de sinal; e 4) elemento representação numérica do sinal. Com o desenvolvimento dos microprocessadores digitais, foi possível integrar num único sistema os componentes anteriormente individualizados, dando origem ao que se convencionou denominar em inglês de "*datalogger*" – sistema que integra unidade eletrônica de medida, conversão e representação dos sinais elétricos, associada a unidade de armazenamento e de comunicação. Na língua inglesa, encontra-se também o termo "*measurement systems*", que se diferenciam dos "*dataloggers*" por necessitarem de conexão com computadores para o armazenamento e processamento de dados – como o nome já diz, este tipo de equipamentos realiza apenas a coleta dados. Este texto refere-se ao que em inglês costuma-se denominar "*datalogger*". Os sistemas automáticos de aquisição de dados têm capacidade de operar (coletando, processando e armazenando dados) independentemente de um computador, mas normalmente permitem a conexão com computadores para visualização em tempo real dos dados coletados.

Um sistema automático de aquisição de dados é constituído basicamente de três

partes principais: a central de processamento e armazenamento; as vias de comunicação; e a fonte para o suprimento de energia (Fig. 1). Como, obviamente, não pode haver interesse simplesmente no sistema de aquisição sem os sensores para a realização das medidas, estes acabam por completar o esquema da Fig. 1, representando, por exemplo, uma estação meteorológica automática.

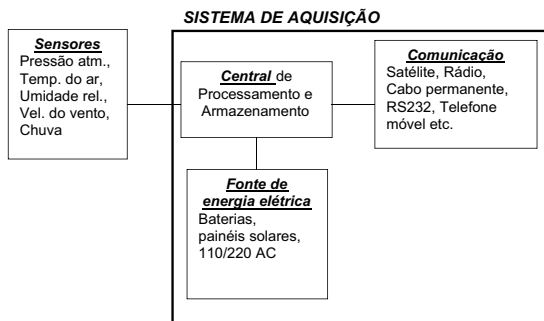


Fig. 1. Representação esquemática da composição de um sistema de aquisição de dados e dos sensores utilizados em uma estação meteorológica automática.

Quanto à sua configuração, os sistemas de aquisição utilizados na agrometeorologia podem ser classificados como sistemas dedicados – receptivos a tipos específicos de sensores, são pré-programados e apresentam intervalos de coleta e gravação fixos; e sistemas não-dedicados – inteiramente programáveis, versáteis quanto à utilização de sensores e capazes de gerenciar circuitos eletroeletrônicos externos. Os primeiros são mais simples nos procedimentos de instalação e programação e normalmente apresentam menor custo. Os sistemas não-dedicados prestam-se a uma ampla gama de aplicações, com boa capacidade de processamento lógico e numérico e de armazenamento de dados; são normalmente mais caros e muito utilizados para fins de pesquisa científica, especialmente quando as aplicações podem ser muito diversas ao longo do tempo.

Outros aspectos que devem ser considerados na avaliação de um sistema de aquisição de dados são a sua confiabilidade e robustez quando exposto ao tempo, seu custo de manutenção, a acurácia de suas medidas, sua capacidade de armazenamento e processamento, meios disponíveis para recuperação dos dados e faixa de temperatura ideal para a operação. O consumo de energia e as formas de alimentação elétrica do sistema também precisam ser considerados na escolha de um sistema de aquisição.

Tais características devem ser consideradas levando-se em conta as aplicações que se pretende dar ao equipamento, pois é evidente que um equipamento destinado a uma instituição de pesquisa não precisa ter as mesmas características de outro a ser utilizado em uma unidade de produção agrícola.

De modo geral, as medidas das grandezas físicas (temperatura, pressão, velocidade do vento etc.) geram sinais elétricos que podem ser quantificados e registrados pelos sistemas de aquisição. De acordo com a grandeza com a qual se associam, esses sinais elétricos podem ser classificados em três classes distintas:

- analógicas: nessa classe são incluídos todos os sinais elétricos que são uma função contínua do tempo;
- intervalo de tempo: nessa classe estão as informações elétricas relacionadas com frequências e pulsos elétricos; e
- digitais: nessa classe estão as informações elétricas que são função discreta no tempo.

A conversão das informações físicas para qualquer outra classe de informação é feita pelos sensores utilizados para as medidas de interesse, como por exemplo, os sensores de temperatura e umidade relativa do ar, radiômetros e pluviômetros. Tecnicamente, os sensores podem ser genericamente denominados de transdutores.

Normalmente, um valor medido não é igual ao valor real da variável e, para se representar adequadamente a medição de uma grandeza é necessário compreender os conceitos de precisão, acurácia e erro. A precisão indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média e representa o erro aleatório associado a uma medida. A acurácia representa o afastamento do valor medido em relação ao valor real e dá idéia do erro sistemático associado à realização da medida. Erros estatísticos pequenos associados a uma determinada medição permitem que se obtenha valores com pequena dispersão, mas não garantem que os valores medidos estejam próximos do valor real – dão idéia apenas da dispersão dos dados e da capacidade do sistema de medida em reproduzir uma determinada medição. Para a realização de medidas com elevada exatidão é necessário que se tenha dados com pequena dispersão – e elevada precisão, portanto –, mas também que se obtenha valores medidos próximos ao valor real da grandeza. É evidente que um bom sistema de aquisição é capaz de realizar medidas com elevadas exatidão e precisão e, portanto, com pequenos erros sistemáticos e aleatórios. O erro sistemático explica a tendência constante de desvio em relação ao valor real, mesmo após sucessivas medidas. O componente aleatório do erro experimental, diferentemente, representa a variação em torno do valor real após uma seqüência de medidas, podendo ser causado por diversos fatores que influem na aquisição automática de dados, destacando-se os ruídos eletrônicos, flutuação de temperatura, vento ou operação inadequada (Fritschen & Gay, 1979).

Além do sistema de aquisição propriamente dito, os sensores também são fontes de erros (sistemáticos e aleatórios) que devem ser considerados na composição de um sistema de medida. De nada adianta o uso de sistemas capazes de realizar medidas com precisão e exatidão altíssimas se os sensores utilizados são de má qualidade. No item Principais Grandezas de Interesse na Agrometeorologia, trata-se sucintamente das principais fontes de erro observadas nos sensores mais comuns.

Processamento e Armazenamento de Dados

Alguns sistemas de aquisição permitem que o usuário interfira em alguns aspectos no processo de processamento e armazenamento dos dados coletados. Por isso, faz-se neste tópico uma abordagem superficial das principais características envolvidas nesse processo com vistas a conferir ao usuário maior autonomia gerencial de sistemas que possuam essa característica.

A partir do momento que o sistema recebe um sinal analógico proveniente dos sensores, há uma série de procedimentos eletrônicos executados até o ponto em que seja possível armazená-los na forma digital, passível de recuperação pelo usuário. Dentre esses procedimentos, o primeiro é o condicionamento e amplificação dos sinais elétricos para níveis em que possam ser processados posteriormente.

Os amplificadores modernos têm a finalidade de elevar um sinal de corrente contínua para um sinal alternado de baixa amplitude, com frequência superior a vários kHz, sendo a voltagem no pólo de saída proporcional à diferença de voltagem entre dois pólos de entrada. Essa elevação objetiva tornar o sinal mais perceptível e menos sensível à interferência de ruído. Feito isso, a determinação dessa voltagem de saída, ou seja, a conversão de um sinal analógico para digital (A-D) propriamente dita, pode ser feita por três métodos diferentes: 1) método das aproximações sucessivas; 2) método da integração; e 3) método Paralelo ou Flash. A maior parte dos sistemas de aquisição vale-se do método da integração na conversão A-D, por apresentar diversas vantagens em relação aos demais. Esse método é baseado numa contagem de pulsos durante um intervalo pré-determinado de tempo e que, em alguns sistemas de aquisição, é possível selecioná-lo de acordo com o tipo de sensor e a aplicação que se pretende dar aos dados coletados. Maiores detalhes sobre os procedimentos eletrônicos na conversão A-D podem ser encontrados em Lang (1987) e Bentley (1992).

O tempo de integração utilizado está diretamente relacionado com a qualidade de medida que se pretende obter. De maneira muito simplificada, pode-se dizer que é durante esse tempo que os sistemas automáticos de aquisição realiza a medida propriamente dita. Assim, um tempo de integração maior resulta numa medida de melhor qualidade, pois há uma maior amostragem da variação temporal do sinal. Isso é especialmente importante quando o sinal elétrico tem grande variação ao longo do tempo, como ilustra a Fig. 2. Para a maior parte das coletas de dados em pesquisa agropecuária pode-se selecionar o maior tempo de integração sem maiores problemas, obtendo-se assim dados de melhor qualidade. Porém, quando se trabalha com programas muito extensos e pequenos intervalos de execução, pode ser necessário optar pelo outro tempo de integração para que não ocorram os chamados "erros de tempo de execução" (*"overrun error"*), verificados quando o intervalo de execução é menor que o tempo necessário para execução de todo o programa. Esse tipo de erro ocorre quando o tempo necessário para o programa é maior que o intervalo de execução, assim, antes mesmo que o programa completo

seja executado, há necessidade de se iniciar uma nova execução, paralisando o funcionamento dos sistemas automáticos de aquisição.

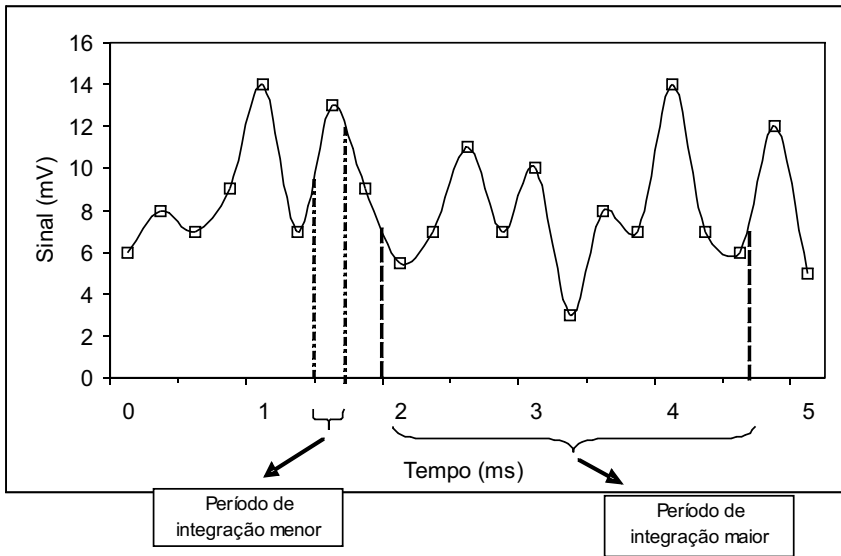


Fig. 2. Representação esquemática da amostragem do sinal elétrico em dois tempos de integração.

Nos sistemas que possuem compartimentos de memória diferenciados para recepção, processamento e armazenamento dos dados, após a conversão A-D o dado digital é disponibilizado num compartimento de memória, denominado de memória inicial ou de entrada. Nessa fase, o usuário pode consultar esse dado que é atualizado em intervalos de tempo iguais aos intervalos de execução do programa. Desde que não haja nenhum comando contrário, esse dado é encaminhado para um segundo compartimento de memória, denominado memória intermediária. Aí, não é possível consultar o valor armazenado e é neste ambiente onde são feitos cálculos e todo o processamento lógico contido na programação. Por fim, desde que o usuário instrua o sistema de aquisição a proceder tal tarefa, esse dado já processado é encaminhado a um compartimento de memória final, em que é possível recuperar esses dados para posterior análise no computador.

Uma forma didática de representar esse fluxo de dados entre os compartimentos de memória é supor um sistema de aquisição realizando medidas de temperatura a cada minuto e médias dessas medidas ao final de cinco minutos. A Tabela 1 ilustra o fluxo dos dados coletados nesse exemplo: a cada minuto é feita uma medição de temperatura e este valor é armazenado na memória inicial. Neste exemplo, o primeiro valor medido foi igual a 23,02°C, valor esse que também foi armazenado na memória intermediária. Passado este primeiro minuto, nova medida foi feita e o valor 23,80°C foi obtido. Este dado sobrepôs o primeiro valor armazenado

na memória inicial e, simultaneamente, foi somado ao valor anteriormente armazenado na memória intermediária, resultando em 46,82 neste compartimento. O sistema prossegue desta forma até o quinto minuto, quando há instrução para gravação de um valor médio dos cinco minutos anteriores para posterior recuperação pelo usuário. Após a leitura do valor 24,71 e armazenamento na memória inicial, este valor é somado ao valor 95,41 armazenado na memória intermediária, resultando em 120,12. O sistema então realiza a operação previamente programada pelo usuário – média aritmética – dividindo o valor armazenado na memória intermediária pelo número de leituras do período (5). A temperatura média do período, recuperada pelo usuário, será então de 24,02°C.

Tabela 1. Representação do fluxo de dados entre os compartimentos de memória utilizada em alguns tipos de sistemas de aquisição de dados.

	Medidas				
	1º. minuto	2º. minuto	3º. minuto	4º. minuto	5º. minuto
Numero da varredura	1	2	3	4	5
Memória inicial	23,02	23,8	24,06	24,53	24,71
Memória intermediária	23,02	46,82	70,88	95,41	120,12
Memória final					24,02

$120,12 / 5$

Principais Grandezas de Interesse na Agrometeorologia

Quando utilizados na agrometeorologia, os sistemas de aquisição de dados, em conjunto com os sensores e o sistema de alimentação elétrica, constituem as estações meteorológicas automáticas de superfície. As grandezas normalmente medidas, especialmente na agrometeorologia operacional são a temperatura e umidade do ar, a radiação solar, a velocidade e direção do vento e a chuva. Por isso, faz-se aqui uma breve discussão sobre as características dos principais sensores utilizados para o monitoramento dessas variáveis.

Temperatura do Ar

A temperatura é uma grandeza intensiva que governa a transferência de energia térmica de um sistema para outro. Ela representa a energia cinética associada às moléculas que compõem o sistema no qual se realiza a medida e, de certa forma, a medida da temperatura dá idéia da atividade e da frequência de colisões dessas moléculas. Para a medida da temperatura é necessário estabelecer uma escala de medida e um modo para a determinação da diferença entre algum valor dessa escala e a determinada temperatura que se pretende conhecer. No

estabelecimento das escalas de temperatura, é comum utilizar-se fenômenos físicos como a mudança de fase de substâncias comuns como padrões de referência; na escala Celsius, a substância tomada como referência é a água e os padrões de referência são o ponto de fusão (0°C) e de ebulição (100°C).

A temperatura do ar deve ser medida entre 1,25m e 2m acima da superfície do solo e, na maioria das vezes, a acurácia ou exatidão da medida depende mais de fatores que influenciam a temperatura do sensor propriamente dito do que pelas suas características ou por interferências de natureza eletroeletrônica. A radiação solar, a condução térmica dos fios e a velocidade do vento são os fatores que influenciam na resposta do sensor e na qualidade das medidas.

Os tipos mais utilizados de sensores de temperatura são os termômetros de resistência de platina, os termistores e os termopares. Os dois primeiros são baseados no princípio da variação de uma resistência elétrica com a temperatura, enquanto que, nos circuitos termoelétricos, há a geração de uma pequena diferença de potencial entre dois metais diferentes, formando-se assim um circuito baseado na diferença de temperatura entre as suas junções.

Os termômetros de resistência baseiam-se no princípio de que a resistência elétrica de diversos materiais varia com a temperatura. Esta característica pode ser utilizada para a medida da temperatura desde que se estabeleça uma relação estável entre a resistência elétrica e a temperatura do meio. Os termômetros de platina constituem um tipo específico de termômetro de resistência e não necessitam de uma temperatura de referência para a realização da medida. São, portanto, uma medida direta da grandeza. Dentre os materiais que podem ser utilizados na construção de termômetros baseados neste princípio, a platina é preferida porque não é difícil encontrá-la na sua forma pura e é estável.

Termistores são semicondutores que seguem o mesmo princípio dos termômetros de platina, com a diferença de possuir uma resistência que varia fortemente com a temperatura e de forma não-linear. Existem atualmente termistores que apresentam correlação positiva e negativa entre temperatura e a resistência elétrica. O "problema" da não-linearidade é facilmente contornado pelos sistemas de aquisição através do processamento numérico do sinal digital. Outra diferença em relação aos termômetros de platina é que os termistores não sofrem interferência com o aumento no comprimento dos fios porque apresentam resistência interna muito elevada. Os termômetros de platina, por apresentarem resistência interna relativamente menor, podem ter seu desempenho prejudicado quando ligados a circuitos muito longos. Os termistores são química e fisicamente estáveis e também não requerem uma temperatura de referência.

Como as medidas de resistência elétrica são difíceis de se realizar, circuitos específicos são utilizados para conversão da variação da resistência elétrica em sinal de voltagem. As "pontes de Wheatstone" são os circuitos comumente empregados para esse fim e que permitem o uso de termômetros de platina

e termistores em sistemas que realizam apenas a medida da diferença de potencial. As pontes também são importantes por amplificar as pequenas variações de resistência elétrica em função da temperatura e por apresentar relação voltagem-temperatura mais próxima da linear se comparada com a relação resistência-temperatura observada nos termômetros de platina.

O efeito termoelétrico tem sido utilizado há mais de 100 anos como uma ferramenta prática para a medida da temperatura. Estudos teóricos e experimentais de circuitos termoelétricos têm determinado a origem das forças eletromotrizes em cada circuito, e seu inter-relacionamento, mas a explicação de como ocorre a conversão de calor em energia elétrica não tem sido satisfatória, assim como a maneira na qual as forças eletromotrizes variam com a temperatura (Funch, 1962). T.J Seebeck descobriu o efeito da termoeletricidade em 1821 quando verificou que se um circuito (Fig. 3a) constituído por dois condutores metálicos diferentes A e B e se uma das junções A e B está à temperatura T1 enquanto a outra está à temperatura T2 maior que T1, haverá corrente elétrica no circuito. A corrente permanece enquanto houver diferença de temperatura entre as junções. A diferença de potencial gerador dessa corrente é chamada de força termoeletromotriz de Seebeck. O condutor é dito ser positivo com relação a B se a corrente elétrica for de A para B até que a temperatura das junções se equilibrem. A descoberta original de Seebeck da força eletromotriz termoelétrica foi baseada num circuito termoelétrico construído de antimônio e cobre.

Em 1834, Jean C. A. Peltier notou que quando uma corrente passava através de uma junção de dois metais (Fig. 3b) ela absorvia ou liberava calor. Se essa corrente passava através da junção numa direção, havia absorção de calor, mas se este fluxo se dava noutra direção, calor era liberado. Se a corrente tem mesma direção daquela produzida pelo efeito Seebeck para a junção aquecida num circuito termoelétrico de dois metais, calor é absorvido, ao passo que na junção fria, calor é liberado. Deste modo, por exemplo, calor é absorvido quando há corrente através de uma junção aquecida de ferro-constantan¹, ela ocorre do constantan para o ferro, sendo o ferro termoeletricamente positivo com respeito ao constantan. O calor liberado ou absorvido é proporcional a quantidade de eletricidade que passa pela junção. Mais detalhes sobre a teoria da termoeletricidade pode ser encontradas em Herzfeld (1962) e McGee (1988)

¹ Constantan é uma liga metálica constituída por 45% Níquel e 55% de Cobre.

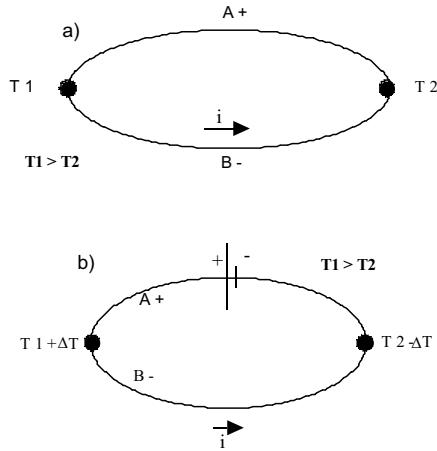


Fig. 3. a) Efeito Seebeck - a diferença de temperatura entre as junções gerando corrente elétrica no circuito; b) Efeito Peltier - a corrente elétrica no circuito gerando a diferença de temperatura.

Termopares são sensores baratos que podem ser construídos em tamanhos diminutos. Uma desvantagem no uso dos termopares é a não linearidade do sinal elétrico gerado com a variação da temperatura (Fig. 4). Atualmente, como também se faz para os termistores, o processamento numérico resolve esse problema pela possibilidade de uso de um polinômio para determinação da temperatura. A Fig. 4 também fornece informações sobre a faixa de temperatura mais indicada para o uso de cada tipo de termopar, podendo-se proceder a essa seleção pela análise da variação do coeficiente Seebeck em função da temperatura: as faixas de temperatura em que o coeficiente angular da curva tende para zero são aquelas em que o termopar é mais indicado.

Mesmo com o processamento numérico realizado pelos SAD para a determinação da temperatura com termopares, muitas vezes os polinômios utilizados não se aplicam a toda a faixa de temperatura passível de ser medida com os termopares e, portanto, deve-se atentar para as recomendações do fabricante no que se refere aos limites de temperatura (Tabela 2). Além disso, os termopares devem ser selecionados de acordo com as características físico-químicas do meio em que serão utilizados.

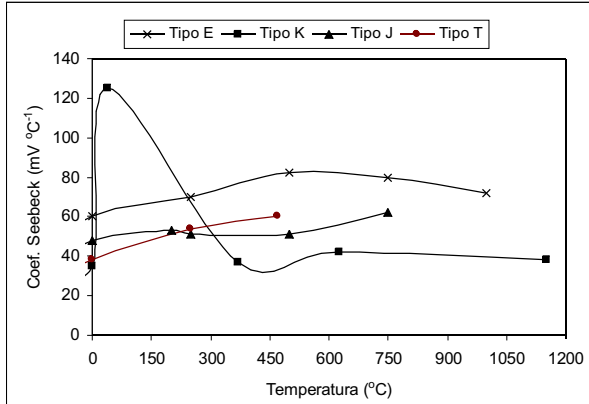


Fig. 4. Variação da voltagem e do coeficiente Seebeck com a temperatura da junção de interesse, para quatro tipos de termopar, mantendo-se a junção de referência à 0°C.

Tabela 2. Tipo de termopares, com metais, cores, coeficiente Seebeck e faixa de temperatura indicada para trabalho.

Tipo	Metal		Cor Padrão		Faixa de Temperatura Indicada (°C)	C. Seebeck p/ T. Ref. a 0°C (μV / °C)
	+	-	+	-		
E	(10%) Níquel (90%) Cromo	Constantan	Violeta	Vermelho	-150 a 206	58,5
J	Ferro	Constantan	Branco	Vermelho	-150 a 296	50,2
K	(10%) Níquel (90%) Cromo	Níquel	Amarelo	Vermelho	-50 a 100	39,4
T	Cobre	Constantan	Azul	Vermelho	-100 a 100	38

Com relação à temperatura de referência, boa parte dos sistemas automáticos de aquisição realiza a sua medida junto aos bornes de ligação para a posterior determinação da temperatura da junção de interesse. Nesses casos, um cuidado especial deve ser tomado para se evitar a ocorrência de gradientes de temperatura no borne. Nas situações em que o sistema fica exposto diretamente ao sol, a condução térmica através dos fios dos termopares pode acarretar gradientes térmicos geradores de erros significativos nas medidas. O uso de termopares do tipo E ao invés dos do tipo T reduzem significativamente os problemas dessa natureza, pois tanto o cromel quanto o constantan têm uma condutividade térmica aproximadamente 20 vezes menor que o cobre.

Para medidas de temperatura do ar os sensores devem ser protegidos da radiação solar durante o dia e do resfriamento causado pela irradiação de ondas longas durante a noite. As diferenças de temperatura entre o ar e os sensores são as principais causas de erro de medida. As proteções com circulação forçada de ar reduzem significativamente os erros de medida, porém as proteções com ventilação natural são também eficientes formas de proteção. Estudos detectaram erros inferiores a 1°C para proteções tipo "multi-pratos" sobre gramados e com velocidade do vento superior a 1,5 m s⁻¹ (McKay & McTaggart-Cowan, 1977).

Uma aplicação dos termopares que tem ganhado muita importância nos últimos anos é a quantificação do fluxo de seiva em plantas pelo método do balanço de calor (Sakuratsani, 1981; Baker & Van Bavel, 1987). Através de ligações específicas de forma a medir pequenos gradientes de temperatura entre duas junções termoelétricas, é possível construir sensores que permitem estimar a taxa de ascensão de seiva em caules de plantas, associando-se um sistema de aquisição devidamente programado para esse fim e uma fonte de corrente contínua para alimentação dos sensores.

Um conceito importante que pode ser aplicado a qualquer tipo de sensor é o tempo de resposta (*time constant*). Todo sensor exposto a um novo ambiente requer um intervalo de tempo para atingir o equilíbrio. Este tempo de ajuste é especialmente importante no caso da temperatura do ar porque ela pode apresentar grande variação temporal especialmente quando se pretende monitorá-la com alta frequência de medida. Constante de tempo é definida, portanto, como o intervalo de tempo para que a variação da medida da temperatura seja igual a 63,2% da variação total da temperatura entre dois instantes. A constante de tempo de um sensor é função da sua capacidade calorífica, volume e da habilidade do sensor em trocar energia térmica com o ambiente e pode ser descrita na forma da seguinte equação (Fritschen & Gay, 1979):

$$\tau = \frac{\rho c V}{h A}$$

Em que: τ é a constante de tempo do sensor (s), ρ é a densidade do material (kg m⁻³); c é o calor específico do material (J Kg⁻¹ °C⁻¹), V é o volume (m³), h é o coeficiente de transporte convectivo (J °C⁻¹ m⁻² s⁻¹), e A é a área do sensor (m²).

A constante de tempo pode ser alterada com a variação na capacidade calorífica do sensor ou pela mudança do coeficiente de transporte convectivo, que são função da área de exposição e do volume do sensor. Assim, o aumento do tamanho do sensor normalmente leva ao aumento na sua constante de tempo.

Umidade do Ar

O vapor de água é um constituinte normal da atmosfera e a sua quantificação é talvez uma das variáveis com maior dificuldade para sua medida. Embora haja uma ampla gama de sensores com diferentes princípios de funcionamento, os capacitivos são atualmente os mais utilizados, por apresentar custo reduzido, boa precisão e estabilidade temporal. Outro princípio muito comum é o psicrométrico, por possibilitar medidas acuradas e à baixo custo, mas com a desvantagem de necessitar de manutenção freqüente em razão do bulbo molhado, e também por necessitar de suprimento de energia para o funcionamento dos ventiladores.

Atualmente, os sensores tidos como de melhor desempenho são os higrômetros de espelho, nos quais o ponto de orvalho é obtido pelo abaixamento da temperatura e detectado pela condensação de água sobre uma superfície espelhada. Um feixe de luz refletido por essa superfície sofre difusão assim que a água cobre a superfície e, dessa forma, o sistema determina a temperatura do ponto de orvalho. Contudo, para aplicações em condições de campo, esse tipo de psicrômetro tem apresentado diversos problemas, principalmente no que se refere à manutenção da limpeza da superfície especular e à aspiração do ar para a realização de medidas.

Diante disso, uma aplicação ainda em desenvolvimento é o psicrômetro aspirado de termopar (Marin et al., 2001), constituído de dois tubos de PVC concêntricos, nos quais são inseridos os termopares para medida da temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido, com um ventilador comum de microcomputadores e com um reservatório de água acoplado lateralmente (Fig. 5). Vale ressaltar que, em condições de campo, recomenda-se a troca da musselina (ou do cordão de algodão) que recobre o bulbo úmido a cada sete dias (Righi, 2004).

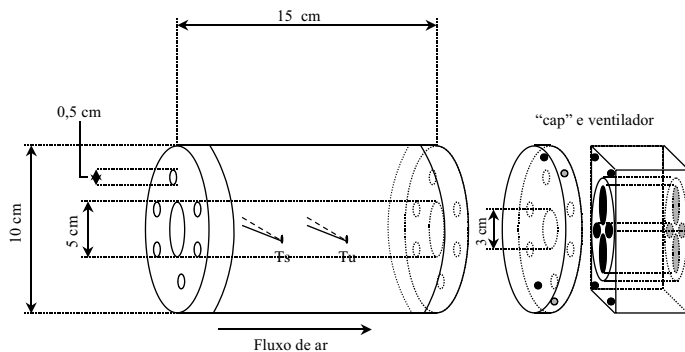


Fig. 5. Representação esquemática do psicrômetro aspirado de termopar.

Uma questão que deve ser considerada na escolha de um sensor para a medida de qualquer grandeza, mas que toma importância especial quando se trata da umidade do ar é a condição na qual se pretende realizar a medida, em termos de escala de variação da umidade propriamente dita, a faixa de temperatura e a presença de contaminantes. Assim, deve-se observar a faixa mais adequada de operação do sensor considerando seu princípio de funcionamento e, nos casos em que se pretende monitorar ambientes com grande variação da umidade, pode ser conveniente se trabalhar com dois tipos de sensores para a medição da umidade do ar (White & Ross, 1991). Nas temperaturas normalmente observadas em ambientes naturais não há restrição para a operação da maioria dos sensores, mas quando se pretende operar em ambientes modificados, com temperaturas muito altas ou muito baixas, pode haver problemas para o monitoramento da umidade.

Todos os sensores de umidade são sensíveis à presença de contaminantes no ar (White & Ross, 1991). Os principais problemas decorrentes da ação desses poluentes são a perda de acurácia, alteração do tempo de resposta e redução da vida útil do sensor

Radiação Solar

A energia radiante pode ser medida de três formas: 1) pelo aumento da temperatura em função da incidência de radiação sobre uma superfície receptora; 2) pela resposta de uma célula fotoelétrica; e 3) por métodos fotoquímicos.

Os piranômetros mais comuns utilizados em estações meteorológicas automáticas são os constituídos por termopilhas – detectando a elevação da temperatura como efeito da incidência de radiação – e por fotodiódos de silício, um tipo de célula fotoelétrica. O fotodiódio de silício, quando exposto à radiação, produz uma pequena corrente elétrica que é convertida numa diferença de potencial ao passar por uma "ponte". Os procedimentos de calibração dos sensores Li-Cor asseguram que, para as mais variadas condições do tempo, os erros não superam os 3%, chegando a um máximo de 5% sob condições extremas de operação.

A utilização de um piranômetro Li-Cor LI200X, na Estação Agrometeorológica do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, no período de janeiro de 1996 a maio de 2000 acarretou em um desvio de 5,60% (Fig. 6A) nos valores instantâneos medidos, em relação à medida de um piranômetro Eppley-PSP previamente aferido. Já no intervalo de tempo que foi de maio de 2000 a junho de 2001, esse desvio foi de apenas 0,54% (Fig. 6B) em relação à mesma referência, indicando a boa estabilidade temporal dos sensores.

Tomando-se, porém, as medidas feitas pelo sensor de radiação fotossinteticamente ativa (Li-Cor, LI190SB), verificou-se um desvio muito maior em relação ao verificado para radiação solar global. Comparando suas medidas com as de um sensor Eppley PSP com filtro específico para faixa do visível, foi

possível encontrar um desvio médio de 40,6% para valores instantâneos (Fig. 7). Isso indica que depois de cinco anos de uso, o LI190SB mostrou-se pouco confiável, necessitando de calibrações freqüentes, talvez anuais.

Os piranômetros de termopilha utilizam uma série de junções termoelétricas para produzir um sinal da ordem de μV , proporcional à diferença de temperatura entre uma superfície negra exposta à radiação e outra protegida. A opção pela cor negra deve-se à necessidade de uma absorção uniforme do espectro solar, sendo inclusive recoberta por uma ou mais cúpulas de vidro que transmitem radiação entre $0,285 \mu m$ e $2800 \mu m$, como é o caso do modelo PSP - Eppley. Ao contrário do recomendado para os sensores de fotodiôdo de silício, esse tipo de sensor pode ser empregado em estudos radiométricos dentro de dosséis vegetativos, bem como para estudos de reflexão da radiação solar. Ao longo do tempo, esses sensores perdem sua calibração, chegando a apresentar erros entre 5% e 15%, com necessidade de aferições freqüentes.

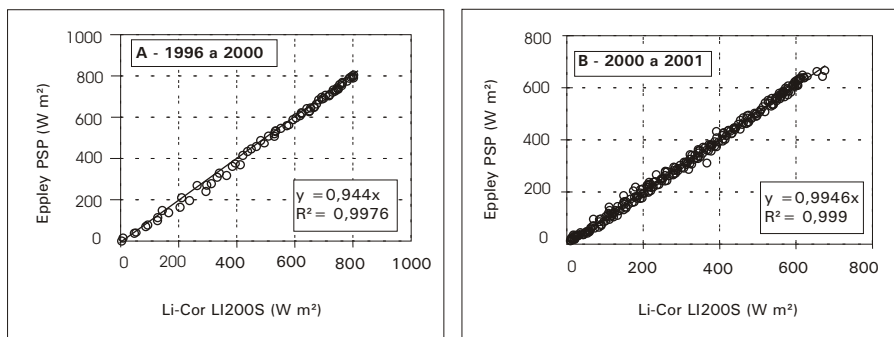


Fig. 6. Relação entre a radiação solar global medida pelo Eppley PSP e pelo Li-Cor 200X após dois períodos de tempo de uso em condições de campo: A) de 1996 a 2000 e B) entre 2000 e 2001.

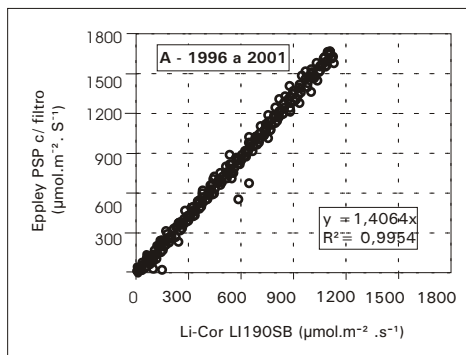


Fig. 7. Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa medida pelo Eppley-PSP com filtro e pelo Li-Cor190SB após 5 anos de uso em condições de

Velocidade do Vento

A escolha de um sensor para a medida da velocidade do vento deve considerar os seguintes aspectos: durabilidade, sensibilidade, tempo de resposta e acurácia. Os anemômetros normalmente utilizados em estações meteorológicas automáticas são os de canecas, geralmente em número de três, girando em torno de um eixo vertical. Este tipo de anemômetro quantifica o vento em todas as direções, o que, algumas vezes, pode levar a superestimativa da velocidade do vento horizontal em alguns pontos percentuais nas situações em que há forte movimento convectivo.

Constante de distância (*distance constant*) e velocidade de partida (*threshold*) são termos propostos por Mazzarella, citado por Fritschen & Gay (1979), e que são utilizados para especificar as características dos anemômetros. O termo constante de distância refere-se à distância que o ar precisa percorrer ao longo de um anemômetro para que ele responda a 63% da variação da velocidade do vento em relação a um momento inicial com velocidade diferente. É um conceito análogo a constante de tempo (*time constant*) (intervalo de tempo utilizado por um sensor para responder a 63% da variação em uma determinada grandeza – ver subitem Temperatura do Ar) e deve ser determinado com um anemômetro operando em condições de velocidade do vento maior e menor do que no instante inicial de medida.

Os meios mais comuns para conversão da rotação de um anemômetro em sinal elétrico são os seguintes:

- geração de uma voltagem de corrente alternada de baixa amplitude pela rotação de um campo magnético (low level AC);
- fechamento de um contato pela rotação de um campo magnético (high frequency pulse);
- geração de um pulso elétrico pelo contato de duas partes metálicas (*switch closure*);
- geração de um sinal analógico proporcional à rotação do anemômetro.

Nos sistemas de aquisição mais comuns podem ser utilizados modelos de anemômetros dos três primeiros tipos, em que as medidas são de frequência e não de voltagem, como no último. Dentre esses, os modelos mais comuns e baratos são os do tipo '*switch closure*', que, como os demais, tem a velocidade do vento como uma função linear da rotação do anemômetro. Assim, a constante de calibração (coeficiente angular) e a velocidade inicial (coeficiente linear) podem ser inseridos na programação do sistema de aquisição para obtenção da velocidade do vento na unidade desejada.

Para medidas de velocidade do vento em condições de baixa movimentação do ar, como é comum no interior de dosséis vegetativos e em casas de vegetação, deve-se selecionar anemômetros com baixa velocidade inicial, ou seja, anemômetros

de pequenos tamanhos e pequena massa. Muitas vezes, mesmo os menores modelos de anemômetros de caneca não podem ser utilizados nesses ambientes e, para esses casos, resta a opção dos anemômetros sônicos, capazes de medir velocidades baixíssimas de vento.

Chuva

O principal índice de medida da chuva é a altura pluviométrica, dada pelo volume de água precipitada por unidade de área horizontal de captação. Outro índice que expressa a precipitação pluviométrica é a intensidade, definido como a altura pluviométrica por unidade de tempo.

Os pluviômetros de balsa (Fig. 8) são os mais utilizados em estações meteorológicas automáticas devido ao seu baixo custo e à sua simplicidade, permitindo a determinação tanto da altura de precipitação quanto da intensidade. Mas não é raro o relato de que este tipo de sensor apresenta erros na totalização da chuva medida, especialmente para precipitações mais intensas. A resolução de medida do sensor, a área de captação e a ação de ventos intensos são outros fatores que interferem na qualidade da medida com pluviômetros de balsa (Seibert & Morén, 1999).

Em sua constituição básica esse equipamento é formado por uma balsa móvel dividida ao meio por um septo que, enquanto um de seus volumes é cheio, o outro é drenado por gravidade. O movimento pendular da balsa promove um contato elétrico, que por sua vez produz um sinal, que é recebido e registrado pelo sistema automático de aquisição.

Esse movimento é promovido da seguinte forma: enquanto um de seus recipientes enche, o outro permanece na posição inferior em contato com o transmissor eletrônico; após o acúmulo de determinado volume no recipiente superior ocorre a troca de posições, havendo então o contato eletrônico e a transmissão de um pulso elétrico representando determinada altura pluviométrica. Ao descer, o recipiente superior extravasa a água armazenada e permanece na posição inferior até o enchimento do outro recipiente.

Os erros associados à resolução de medida do pluviômetro são os mais comuns e sua origem reside na dificuldade do sensor em computar chuvas intensas e em sensores com grande área de captação (Sentelhas & Caramori, 2002). No processo de registro da chuva, no intervalo de tempo em que a balsa está em movimento, certo volume de água não é adequadamente conduzido ao recipiente que se eleva, havendo assim uma submedida da altura pluviométrica. Esse tipo de erro tende a ser maior conforme aumenta a intensidade da chuva, dado que o movimento da balsa ocorre com maior frequência. Pluviômetros com resolução de 0,1mm apresentam maior chance de erros deste tipo do que aqueles com 0,2 mm de resolução.



Fig. 8. Sistema de medida da altura pluviométrica em pluviômetro de báscula.

Fonte: Cambridge Bay Weather (2005).

Uma característica importante deste tipo de pluviômetro é a possibilidade de erro no cômputo da precipitação quando a chuva ocorre em alta intensidade. Isso é causado, em parte, pelo volume de chuva não registrado durante o movimento da báscula, aumentando nos sensores com grande orifício de captação de água e/ou naqueles com baixa sensibilidade, que têm elevado volume de báscula. Sentelhas & Caramori (2002), em comparação com pluviômetros convencionais (tipos Ville de Paris e Paulista), verificaram a tendência de submedidas nos pluviômetros eletrônicos de báscula tipo, com erros médios de 14% num pluviômetro marca Texas Electronics com resolução de 0,1mm, e erros médios de 2% para um pluviômetro marca Sutron com 0,2mm de resolução.

Segundo Tanner (1990), erros de até 10% podem ocorrer com certa freqüência especialmente nos sensores de pior resolução (valor menores), razão pela qual a WMO recomenda que os pluviômetros de báscula tenham resolução de 0,2mm. Pluviômetros com essa resolução são capazes de armazenar em cada recipiente volumes maiores que pluviômetros com 0,1mm, por exemplo, com menor freqüência no movimento da báscula e, portanto, menor risco de erro durante o tempo de movimentação da báscula.

Referências Bibliográficas

BAKER, J. M.; VAN BAVEL, C. H. M. Measurements of mass flow of water in stems of herbaceous plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 10, p. 777-782, 1987.

BENTLEY, J. P. **Principles of measurement systems**. London: Longman, 1992. 503 p.

CAMBRIDGE BAY WEATHER. [Interior of a tipping bucket rain gauge].

Disponível em:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/9/90/Interior_tipping_bucket.JPG/796px-Interior_tipping_bucket.JPG>. Acesso em: 25 out. 2005.

FRITSCHEN, L. J.; GAY, L. W. **Environmental instrumentation**. New York: Springer-Verlag, 1979. 215 p.

FUNCH, D. I. General principles of thermoelectric thermometry. In: HERZFELD, C. M. (Ed.). **Temperature: its measurement and control in science and industry**. New York: Reinhold, 1962. v. 3, Part 2.

HERZFELD, C. M. (Ed.). **Temperature: its measurement and control in science and industry**. New York: Reinhold, 1962. v. 3, 1094 p.

LANG, T. T. **Electronics of measuring systems: practical implementation of analogue and digital techniques**. Chichester, N. Y.: John Willey, 1987. 318 p. (Design and measurement in electronic engineering).

MCGEE, T. D. **Principles and methods of temperature measurement**. New York: John Willey, 1988. 581 p.

MCKAY, D. J.; MCTAGGERT-COWAN, J. D. An intercomparison of radiation shields for auto stations. **World Meteorological Organization**, n. 480, p. 208-213, 1977.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO FILHO, M. A.; VILLA NOVA, N. A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 839-844, out./dez. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n4/6306.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2005.

RIGHI, E. Z. **Balço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 151 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water sap flow in the stem of intact plant. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 39, n. 1, p. 9-17, 1981.

SEIBERT, J.; MORÉN, A. S. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type rain gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 98-99, p. 341-348, 1999.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 301-304, 2002.

TANNER, B. D. Automated weather stations. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, n. 1, p. 73-98, 1990.

WHITE, G. M.; ROSS, I. R. Humidity. In: HENRY, Z. A.; ZOERB, G. A.; BIRTH, G. S. **Instrumentation and measurement for environmental sciences**. Saint Joseph: ASAE, 1991. p. 8.01-8.13.



Informática Agropecuária

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

