

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO
DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE
UMIDADE RELATIVA E DE TEMPERATURA DO AR**

KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA

Engenheira Agrícola

Orientador: Prof. Dr. **SERGIO OLIVEIRA MORAES**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Agrometeorologia.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Janeiro - 2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Silva, Késia Oliveira

Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade relativa e de temperatura do ar / Késia Oliveira da Silva. - Piracicaba, 2000.

81 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Bioclimatologia 2. Conforto térmico 3. Informática agrícola 4. Instalação para animal 5. Sistema de computador 6. Temperatura do ar 7. Umidade relativa do ar I.
Título

CDD G30.2515

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

“ À José e Dorinha, meus pais.

*Pela vida árdua e sacrificada para criar e educar os
seus filhos, incentivando-me a prosseguir a jornada, fossem
quais fossem os obstáculos*

*Ao meu irmão Fran que sempre me acompanhou dedicando seu apoio e
incentivando - me desde pequena.*

Aos meus irmãos, Ivan e Kênia que participam desta luta.

Ofereço essa conquista, com o mais profundo amor, admiração e respeito.

*Aos amigos, que um dia acreditaram, os que acreditam e aos que
sempre acreditarão no valor real de uma amizade. A todos vocês, e
principalmente à meu amigo companheiro e namorado Jarbas Honório
de Miranda que sempre acreditou...*

Dedico”

AGRADECIMENTOS

**“À Deus, onipotente e onipresente, pelo constante amparo em
minha vida.”**

Não existem palavras, que possam agradecer à pessoa do **Prof. Dr. Sergio Oliveira Moraes**, meu orientador, pela competente orientação, entusiasmo e energia, que transmitiu com convicção, durante esse período.

Aos professores do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, pelos ensinamentos e convívio.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Exatas, pela amizade e apoio em todos os momentos.

Aos colegas de curso, pela convivência companheirismo e amizade.

Ao Engenheiro Juarez Renó do Amaral, do Setor de Máquinas Agrícolas, do Departamento de Engenharia Rural, pelo auxílio técnico na montagem do BASIC StampII.

A Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ / USP, pelos conhecimentos adquiridos durante a realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A empresa Philips Components pela doação dos sensores de temperatura e umidade do ar.

À todos que de uma forma ou de outra, contribuíram para o êxito deste trabalho, o meu muito obrigada.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
SUMMARY	xi
1 – INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 – Temperatura	4
2.1.1 - Medidas da temperatura	5
2.1.1.1 - Termômetros	5
2.1.1.2 - Termógrafo	8
2.1.1.3 - Sensores elétricos	9
2.1.1.4 – Sensores à radiação infravermelho	11
2.2 - Umidade do ar	12
2.2.1- Medidas da umidade atmosférica	16
2.2.1.1 – Psicrômetro	16
2.2.1.2 - Higrômetro de fio de cabelo	17
2.2.1.3 - Higrômetro de resistência	17
2.2.1.4 - Higrômetro de ponto de orvalho	18
2.2.1.5 - Higrômetros espectroscópicos	18
2.2.1.6 – Higrômetro que utiliza sensor capacitivo	18
2.3 - Sistemas de automação	19
2.3.1 – Sensores	19
2.3.2 – Atuadores	21
2.3.3 – Controladores	22
2.3.4 – Comunicação	23
2.3.5 - Automação na agropecuária	23

2.3.6 - Agricultura de precisão	24
2.3.7 - Zootecnia de precisão	24
2.3.8 - Controle do ambiente	24
2.4 - Sistemas de aquisição de dados	25
2.4.1 – Medidores e registradores analógicos	25
2.4.1.1 – Registradores mecânicos	25
2.4.1.2 – Medidores e registradores eletrônicos analógicos	26
2.4.2- Medidores digitais	27
2.4.3 - Comunicação com computadores	28
2.4.4 - Características de “data loggers” e sistemas de obtenção de dados	28
2.5 - “ Basic Stamp ”	31
3 - MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 – Material para montagem do sistema de aquisição de dados acoplado a um microcomputador	35
3.2 – Métodos	41
3.2.1 – Calibração do sensor de temperatura	41
3.2.1.1 - Primeira etapa para calibração do sensor de temperatura	41
3.2.1.2 – Segunda etapa para calibração do sensor de temperatura	41
3.2.1.3 – Terceira etapa para calibração do sensor de temperatura	44
3.2.2 - Calibração do sensor de umidade relativa	45
3.2.2.1 - Primeira tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa	46
3.2.2.2 - Segunda tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa	47

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Placa para protótipo que acompanha o “kit” do BSII (Carrier board)	32
2 Representação do esquema de pinos do BASIC Stamp ^R	36
3 Esquema de instalação do BSII com o computador pessoal e a bateria (A), bateria de 9V (B) e eliminador de baterias (C)	38
4 Diagrama esquemático do sensor de temperatura (A), sensor de temperatura já conectados ao cabo coaxial (B), diagrama esquemático do sensor de umidade relativa (C) e sensor de umidade relativa já conectado ao cabo coaxial (D)	39
5 Esquema da montagem elétrica para controle do misturador de água	42
6 Variador transformador de tensão (A) e Voltímetro (B)	43
7 Caixa de isopor utilizada na confecção do banho-maria (A) e disposição dos instrumentos utilizados na calibração (B)	44
8 Esquema de montagem elétrica para controle do resistor de aquecimento	46
9 Psicrômetro ventilado (A) e termohigrógrafo (B)	47
10 Psicrômetro não ventilado	48
11 Disposição dos instrumentos dentro da caixa plástica (A), caixas plásticas perfuradas já fechadas (B) e tecido embebido em água destilada cobrindo as caixas plásticas perfuradas (C)	50
12 Esquema eletrônico do sistema de aquisição de dados de temperatura umidade relativa do ar	52
13 Sensores de temperatura e umidade relativa conectados ao BSII embutido na caixa de baquelite preta	53
14 Visão geral do sistema utilizado na calibração do sensor de temperatura	56
15 Curva de regressão relacionando os dados de temperatura, em °C, do termômetro padrão e as respectivas leituras do BSII (mV)	57
16 Programa para obtenção de temperatura e umidade relativa onde a equação referente à temperatura já é resultante da calibração	58

- 17 Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com os dados do psicrômetro ventilado e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no interior do laboratório 60
- 18 Correlação entre os dados da umidade relativa fornecida pelo termohigrógrafo e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no interior do laboratório 60
- 19 Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com os dados do psicrômetro ventilado e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no exterior do laboratório 62
- 20 Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com o psicrômetro não ventilado e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no exterior do laboratório 62
- 21 Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com o termohigrógrafo e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no interior do laboratório 63
- 22 Curva de regressão relacionando os dados de umidade relativa em % e do psicrômetro padrão e respectivas leituras do BSII (mV) 64
- 23 Programa para a obtenção de temperatura e umidade relativa onde a equação referente à umidade relativa já é resultante da calibração 65

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Tipos de termômetros utilizados e suas características com relação à faixa de operação, fonte de potência e precisão	6
2 Relação dos operadores matemáticos que podem ser usados em expressões matemáticas do BASIC Stamp ^R	37
3 Lista de material utilizado na montagem eletrônica	40
4 Tipos de ambientes artificiais utilizados na calibração do sensor de umidade relativa	49
5 Sais utilizados na calibração do sensor de umidade relativa com suas respectivas temperaturas e umidade relativa	51
6 Tipos de ambientes utilizados, valores de umidade relativa e sinais gerados pelo sensor	64

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE UMIDADE RELATIVA E DE TEMPERATURA DO AR

Autora: KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. SERGIO OLIVEIRA MORAES

RESUMO

Dada a importância do ambiente bioclimático na produção animal e vegetal e portanto um controle ambiental adequado, o trabalho propõe como objetivo a construção de um sistema de aquisição automatizada de dados de temperatura e umidade relativa, utilizando um microcontrolador de dimensões reduzidas e baixo custo. Como sensores de umidade relativa e temperatura utilizou-se capacitor e termistor, respectivamente. As etapas de calibração dos mesmos, utilizando situações naturais e artificiais, bem como as metodologias desenvolvidas também são apresentadas, além do diagrama de montagem eletrônica e o programa de monitoramento térmico e de umidade.

Os resultados permitem concluir que o sistema poderá ser utilizado com segurança no monitoramento dessas variáveis.

DEVELOPMENT OF A LOW-COST SYSTEM FOR RELATIVE HUMIDITY AND AIR TEMPERATURE DATA COLLECTING

Author: KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA

Adviser: Prof. Dr. SERGIO OLIVEIRA MORAES

SUMMARY

Due to the importance of the bioclimatic environment to animal and vegetal production and, therefore, a proper environmental control, this paper aims the construction of an automatized system for relative humidity and air temperature data acquisition, using a low-cost micro controller of reduced dimensions. A capacitor and a termistor were respectively employed as relative humidity and temperature sensors. Their calibration stages, for natural and artificial situations, and the methodology developed are presented, as well as the electronic assembly diagram and the humidity and thermal monitoring program.

Based on the results we can conclude that the system can be safely used for monitoring such variables.

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento da população mundial provoca um aumento na demanda por alimentos, principalmente em áreas ocupadas por países menos favorecidos e emergentes e os alimentos considerados como produtos nobres, derivados de proteínas de origem animal na forma de leite, ovos e carne, torna-os importantes na nutrição básica dos indivíduos de diferentes faixas etárias. Portanto, a procura crescente por alimentos desta natureza é uma realidade internacional, desde que aumentada a capacidade econômica da população (Nääs 1998). Diante disso, para se obter um incremento na produção desses alimentos, o controle ambiental torna-se importante, pois é uma das condições necessárias para um melhor desempenho produtivo e reprodutivo dos animais, mas que apresenta um alto custo de implantação, o que leva à necessidade de desenvolvimento de novas metodologias mais acessíveis economicamente ao produtor.

Atualmente, as exigências do mercado fazem com que o produtor atente sempre, não só para o melhor preço do produto ofertado, mas também para a busca da qualidade e rapidez na oferta do mesmo, as quais podem ser alcançadas por controle ambiental automatizado. Devido a este fato, a relação existente entre a especialização da mão-de-obra empregada e o setor produtivo torna-se importante, porque busca-se desenvolver um sistema de automação para obtenção dos dados de temperatura e umidade relativa do ar para o controle do ambiente que objetive operar este sistema a um custo reduzido. Dessa forma procura-se obter a otimização da produção que poderá dar ao produtor competitividade no mercado à medida em que o coloca em condição de oferecer um produto de melhor qualidade a custos reduzidos, facilitado pela conquista de um espaço e lucros empresariais.

O conceito de ambiente é amplo, uma vez que inclui todas as condições que influenciam o desenvolvimento dos animais (Roller & Stombaugh, 1976). O ar atmosférico é um importante componente do ambiente, sendo que a temperatura e a umidade relativa do ar são as principais propriedades psicrométricas responsáveis por dois processos importantes no desenvolvimento da produção, o aquecimento e o resfriamento. Em países de regime tropical como o Brasil, o aquecimento torna-se o principal problema para se obter altos rendimentos e em países de clima temperado o resfriamento é um componente indesejável para o processo produtivo, pois para cada fase da produção são exigidas diferentes faixas de temperatura e umidade relativa. Estas medidas são de grande importância em áreas como Agricultura, Zootecnia, e Engenharia, e os fabricantes de instrumentos têm se preocupado em oferecer grande variedade de equipamentos com aplicação nesses setores (Noble e Le Divich, 1982; Le Divich e Reinaldo, 1989).

A automação na obtenção dos dados tem gerado avanços enormes no controle de ambientes, pois permite rapidez e confiabilidade na aquisição dos dados, contribuindo para a tomada rápida de decisões (Dally et al. 1993).

Tendo em vista as necessidades do setor produtivo em disponibilizar no mercado produtos e serviços competitivos, ou seja, produtos com qualidade a baixos custos, o controle ambiental assume uma posição de destaque. Diante da importância destes fatores, o presente trabalho apresenta como objetivo a construção e a calibração de um sistema de aquisição de dados utilizando um microcontrolador de dimensões reduzidas e de baixo custo (Basic Stamp^R), facilmente programável pela porta paralela de um microcomputador, utilizando uma linguagem de programação PBASIC, que é muito próxima ao BASIC tradicional. O dispositivo contém funções especiais tais como: comunicação serial, conversão analógico/digital (malha RC) conversão digital/analógica (PWM), geração de som, medição de largura de pulso, e pode ser utilizado para resolver uma vasta gama de problemas de controle, sem a necessidade de usar circuitos específicos e complexos. Possui 16 pinos de I/Os programáveis tanto para saída como para entrada suportando correntes de até 20mA (Bernardes, 1997). O sistema utilizará

termistores, como sensor de temperatura e capacitores como sensor de umidade relativa do ar (DeFelice, 1998).

2 REVISÃO DE LITERATURA

A atmosfera possui propriedades e condições físicas, como temperatura, umidade, pressão, direção e velocidade de deslocamento do ar, grau de nebulosidade e quantidade de precipitação. Todas essas propriedades mutáveis devem ser medidas com precisão toda vez que se deseja determinar o que ocorre no ar e como ele varia, caracterizando assim, o tempo num dado momento e lugar. A exatidão das medidas vai depender em grande parte da precisão do instrumental utilizado. Por serem elementos climatológicos primordiais no controle ambiental a temperatura e a umidade relativa serão tratadas a seguir com mais detalhes.

2.1 Temperatura

Max Planck, citado por McGee (1988), definiu a temperatura como a sensação de calor ou frio de um corpo. Já outros autores, afirmam que a temperatura pode ser definida como sendo o nível de energia térmica. Neste sentido, diz-se que todas as substâncias são constituídas por moléculas que possuem movimentos mais ou menos rápidos e que quando a velocidade do movimento intermolecular de um corpo aumenta, a temperatura desse corpo se eleva.

A matéria em movimento possui energia e é capaz de exercer força e realizar trabalho e a energia que se origina do movimento molecular é chamada de calor. O calor é, portanto, uma forma de energia e uma quantidade mensurável, ainda que não seja uma substância, podendo ser transformado em outras formas de energia (Blair & Fite, 1964).

Embora o corpo humano possa reagir a variações de temperatura do ar, o mesmo não constitui um instrumento acurado capaz de medir a temperatura e portanto necessita-se de alguns aparelhos de medição.

2.1.1 Medidas de Temperatura

Os instrumentos utilizados para a determinação da temperatura são denominados termômetros quando se limitam a indicar o valor assumido por essa variável num dado instante, ou termógrafos quando capazes de efetuar um registro contínuo dos valores assumidos a cada instante ao longo de um intervalo de tempo preestabelecido (Blair & Fite, 1964).

Existem também sensores elétrico - eletrônico que também permitem o monitoramento da temperatura de forma instantânea ou contínua, quando operados com sistemas de aquisição de dados além de sensores a radiação infravermelha que fornecem a temperatura de um objeto sem ter contato com o mesmo.

2.1.1.1 Termômetros

Os termômetros são instrumentos destinados a reagirem com precisão às variações de temperatura sendo que os mais comumente utilizados nas estações meteorológicas convencionais de superfície são do tipo líquido em vidro. Esses instrumentos baseiam-se na variação de volume de uma certa quantidade de um líquido apropriado condicionada pela variação da temperatura ambiente. Os líquidos utilizados têm a propriedade de se dilatarem ou se contraírem, conforme o aumento e diminuição da temperatura à qual estão submetidos, respectivamente.

As variações de volume da substância líquida são utilizadas para traduzir mudanças de temperatura mediante a adoção de escala de correspondência graduada, por

exemplo, na escala celcius. Dependendo da faixa de temperatura em que irá operar o instrumento, poderão ser utilizados o mercúrio, o álcool etílico, o toluol ou uma mistura de mercúrio-tálio, pois no caso do mercúrio, a sua utilização para a fabricação de termômetros, que vão operar a temperaturas abaixo de $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$, não é recomendada pois se solidificaria. A substância utilizada na confecção de um dado termômetro constitui o elemento sensível desse termômetro (Bolton, 1988).

Dentre os tipos de termômetro de líquido-em-vidro os mais comumente utilizados nas observações meteorológicas de superfície são os termômetros de mercúrio em vidro, sendo que a faixa de medida desse tipo de termômetro é de -35 a $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Outros tipos de termômetros líquidos em vidro são os termômetros de álcool em vidro, utilizados na faixa de -80 a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os termômetros de pentano em vidro para um alcance de -200 a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Por outro lado, existem também os termômetros classificados como “químicos” que podem ser utilizados como padrões secundários em laboratórios. Os termômetros menos precisos são classificados como “industriais”.

Atualmente existem diferentes tipos de termômetros cujas características podem ser observadas na Tabela 1 e têm-se os termômetros líquidos em metal que são robustos e incluem o termômetro de Bourdon (tubo metálico curvo, achatado e cheio de líquido).

Tabela 1 - Tipos de termômetros utilizados e suas características com relação à faixa de operação, fonte de potência e precisão.

Tipo	Faixa de Alcance	Fonte de Potência	Precisão
Termômetro metálico	-100 a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$	Não	$\pm 1\%$
Termômetro de pressão de vapor	-50 a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$	Não	$\pm 1\%$
Termômetro de tira bimetálica	-30 a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$	Não	$\pm 1\%$

O termômetro de resistência metálica requer uma fonte de alimentação, podendo ter um mostrador razoavelmente distante, opera num intervalo geral de -260 a

1000 °C, possui alta precisão e pode ser utilizado como padrão secundário (Bolton, 1988).

De acordo com Blair & Fite (1964), os termômetros podem ainda ser classificados de acordo com o uso específico a que se destinam. Dentre os diferentes tipos de termômetros podem ser citados:

- a) Termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido que são termômetros comuns, fundamentalmente idênticos e cujo elemento sensível é o mercúrio. A diferença reside no fato do termômetro de bulbo úmido, ao contrário do outro, ter o bulbo envolvido por um tecido especial o qual deve estar convenientemente umedecido por ocasião das observações. Estes termômetros são montados em suporte próprio, um ao lado do outro, constituindo um instrumento denominado psicrômetro. Os termômetros de bulbo úmido também são designados de bulbo molhado.
- b) Termômetros de solo ou geotermômetros, que se destinam a indicar a temperatura reinante no solo a determinadas profundidades, sendo que para cada profundidade selecionada existe um geotermômetro apropriado.
- c) Termômetros de imersão, que são idênticos aos de bulbo seco porém montados num suporte metálico, cilíndrico e de parede polida, que deixa visível a coluna e a escala termométrica. Estes equipamentos são destinados à imersão na água e os seus suportes dispõem de um reservatório que captam um pouco do líquido, ao serem mergulhados.
- d) Termômetros de máxima utilizam também o mercúrio como elemento sensível e são utilizados para indicar a temperatura máxima, verificada num dado intervalo de tempo. Diferem dos tipos anteriores por possuírem, próximo ao bulbo, um dispositivo para impedir que o retorno de mercúrio ao bulbo ocorra espontaneamente.

- e) Termômetros de mínima, que são destinados a indicar a temperatura mínima que ocorreu em um certo período. Os termômetros de mínima têm normalmente o álcool etílico como elemento sensível e o bulbo desses instrumentos é bifurcado para aumentar sua eficiência.

2.1.1.2 Termógrafos

Os termógrafos são aparelhos que registram continuamente e automaticamente os dados, funcionam pela variação das dimensões do elemento sensível com a temperatura sendo estas registradas sobre um gráfico fixado num tambor movido por um mecanismo de relógio.

Os tipos de termógrafos mais freqüentemente encontrados são os termógrafos bimetálicos, termógrafos de tubo de Bourdon e os termógrafos de mercúrio-em-aço.

Estes equipamentos são fundamentalmente análogos, no seu aspecto geral, diferindo basicamente no que diz respeito à unidade sensível, sendo portáteis e de fácil operação. As características dos equipamentos podem ser conferidas a seguir:

- a) Termógrafos bimetálicos têm como elemento sensível uma lâmina denominada bimetálico, constituída pela justaposição de dois metais com coeficientes de dilatação diferentes. O bimetálico pode ser curvo, (assumindo a forma de um “C”) ou helicoidal. Uma das extremidades dessa lâmina está rigidamente fixada ao chassis do instrumento e a outra, a um sistema de alavancas, que faz parte da unidade de registro. Os materiais utilizados como elemento sensível são, quase sempre, o bronze e o invar.
- b) Termógrafos de tubo de Bourdon têm como unidade sensível o tubo de Bourdon que consiste num tubo achatado, curvo, de secção elíptica e hermeticamente fechado. As paredes desse tubo, constituídas por metal flexível, limitam um espaço onde se

encontra álcool, seu elemento sensível, e uma das suas extremidades é acoplada a um sistema de alavancas, e a outra é soldada ao chassis do instrumento (Berry et al., 1945). As variações de temperatura provocam alterações no volume do álcool que modificam a curvatura do tubo, implicando em movimentos da sua extremidade livre. Esses movimentos acionam o sistema de alavancas da unidade de registro.

- c) Termógrafos de mercúrio em aço, também utilizam tubos metálicos para acionar o sistema de alavancas da unidade registradora, sendo porém, espiralados. Neles, o elemento sensível é o mercúrio e desse modo, um aumento de temperatura do bulbo provoca a dilatação do mercúrio que fluindo pelo capilar faz aumentar a pressão interna do tubo espiralado, tendendo a desenrolá-lo. Os termômetros desse tipo são considerados como “provavelmente” os mais fidedignos, duráveis e precisos para fins meteorológicos dentre os instrumentos convencionais (Middleton, 1943; OMM, 1971).

2.1.1.3 Sensores elétricos

Os sensores elétricos envolvem circuitos eletrônicos para registrar ou indicar temperaturas e têm larga aplicação em estudos micrometeorológicos, especialmente na determinação dos perfis de temperatura.

Tais instrumentos exigem os mesmos cuidados dispensados aos instrumentos convencionais no que concerne à proteção contra a radiação solar. A variação da resposta elétrica do sensor à uma mudança da temperatura ambiente é analisada por um circuito eletrônico. Os resultados são obtidos rapidamente podendo ser lidos num visor digital ou registrados em papel ou armazenados em sistemas de aquisição de dados. Logo abaixo encontram-se as descrições de alguns sensores elétricos:

- a) Termopares: são junções duplas com fios de dois metais ou ligas metálicas, diferentes, as quais produzem uma força eletromotriz proporcional à diferença das

temperaturas a que estão submetidas cada uma das junções do par. Uma das junções é mantida a uma temperatura constante que serve como referência, a outra é posta em contato com o meio cuja temperatura deseja-se conhecer (Middleton, 1943). Os termopares têm a grande vantagem de possibilitar a confecção de sensores muito pequenos, permitindo determinações pontuais de temperatura com precisão de 0,1 °C ou superiores (Rosenberg, 1974).

- b) Termosensores de resistência elétrica: fundamentam-se na variação da resistência elétrica dos metais com a temperatura. De um modo geral, o sensor é constituído por um pequeno resistor, confeccionado com fio muito fino composto por platina, níquel e cobre.

A resistência elétrica de vários materiais muda de maneira sensível com a temperatura, fornecendo assim uma base para a sua medição. Os materiais de uso prático recaem em duas classes principais que são os condutores e os semicondutores. Os materiais condutores, historicamente, vêm primeiro e têm sido chamados de termômetros de resistência.

Os materiais semicondutores apareceram mais recentemente e receberam o nome genérico de “termistor”. Para medidas de altas temperaturas, a resistência deve ser fechada num bulbo selado para protegê-la de líquidos ou gases corrosivos. Os primeiros tipos de termistores foram feitos de óxido de manganês, níquel e cobre que foram moídos e misturados em proporções apropriadas e prensados numa forma desejada. À esta mistura foi dado o nome de termistor e estão sendo amplamente utilizados hoje em dia. Esses quando comparados com os sensores de tipo condutor (que têm um baixo coeficiente positivo de temperatura) apresentam um coeficiente negativo muito alto. Outro fato, é que enquanto alguns condutores (cobre, platina, tungstênio) são bastante lineares, os termistores são altamente não lineares (Ismail, 1998).

A resistência do termistor varia de maneira inversamente proporcional à sua temperatura (aumenta-se a temperatura diminui-se a resistência) e estes equipamentos têm uma alta sensibilidade, o que os caracteriza como sensores eficazes para medição de temperatura, particularmente quando altas precisões e resoluções são

importantes. Além de sua sensibilidade são fisicamente e quimicamente estáveis, não necessitando de junções de compensação e são pouco afetados pelos fios de ligação ou pela variação na resistência de contato.

Os termistores disponíveis no comércio têm a forma de contas, pontas de prova, discos e barras. As contas são muito usadas para a medida de temperatura e geralmente cobertas com vidro. Elas podem ser muito pequenas, alguns milésimos de milímetros de diâmetro e dão uma resposta rápida. O intervalo utilizável de temperatura é de -216 a 649 °C, mas um único termistor não é geralmente utilizado num intervalo tão grande. Discos e barras são mais utilizados como aparelhos compensadores de temperatura, elementos controladores de tempo e controladores de voltagem e potência em circuitos eletrônicos. Outros sensores de temperatura a semicondutores incluem resistores de carbono e elementos de cristais de silício e germânio (Ismail, 1998).

2.1.1.4 Sensores à radiação infravermelho

Os sensores a infravermelho medem a radiação emitida por um alvo e relacionam essa radiação com a temperatura de sua superfície, de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann de acordo com essa lei a radiação emitida por um corpo qualquer é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta de sua superfície, eq. (1), ou seja:

$$R = \varepsilon\sigma T^4 \quad (1)$$

onde

R = radiação emitida (W m^{-2});

ε = emissividade da superfície (adimensional);

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,674 \cdot 10^{-8} \text{ W. m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$);

T = temperatura do corpo considerado (K).

Esses sensores de temperatura operam com radiação eletromagnética cujo comprimento de onda esteja na faixa visível e no infravermelho. O espectro visível é

bastante estreito: de 0,3 a 0,72 μm ($1\mu = 1 \times 10^{-6} m$). Os aparelhos de medida de temperatura basados em radiação utilizam principalmente uma parte que está no intervalo de 0,3 a 40 μ (Ismail, 1998).

Muitos termômetros ao infravermelho têm filtros que admitem energia entre 8 e 14 μm de comprimento de onda para alcançar o sensor. Esse comprimento de onda compreende o máximo de emissão dos corpos negros às temperaturas normais e tem baixa absorção pelo vapor de água. A emissividade de superfícies naturais entre esses comprimentos de onda é relativamente alta, porém, a absorção pelo vapor de água não pode ser sempre desprezada. Para medidas precisas de emissividade, essa absorção deve ser conhecida. Outra complicação é o fato de que parte da irradiação emitida pelas áreas vizinhas e refletida pela superfície nesse comprimento de onda também pode interferir no sensor, somando-se à radiação recebida no alvo. A presença de nuvens altera o balanço de energia na superfície, o que não é considerado adequado, principalmente quando se trata de determinação de índices baseados na temperatura da cobertura (Folegatti 1988).

Devido à necessidade de se obter informações, as empresas desenvolvem a cada dia instrumentos de medição de temperatura cada vez mais precisos e práticos. Neste aspecto, para facilitar a leitura têm-se os termômetros digitais e sensores acima citados, com alta precisão, possuindo sensibilidade e respostas rápidas.

2.2 Umidade do ar

A umidade do ar é a água na fase de vapor que existe na atmosfera, variando desde valores quase nulos em regiões desérticas e polares até valores de 4 % (em volume de ar úmido) nas regiões quentes e úmidas.

O ar atmosférico é composto de uma mistura de gases e vapores, compondo a pressão atmosférica total, que de acordo com a lei de Dalton, pode ser expressa pela eq. (2) (Blair & Fite, 1964).

$$P_{atm} = P_{ar} + ea \quad (2)$$

onde

P_{atm} = pressão atmosférica total, kPa;

P_{ar} = pressão de ar seco, kPa e

ea = pressão parcial ou atual exercida pelo vapor d'água, kPa.

A razão entre a pressão do vapor d'água atual, presente na atmosfera (ea), e a pressão de vapor numa situação da atmosfera saturada (es), nas mesmas condições de temperatura, é denominada umidade relativa (UR) eq. (3).

$$UR = \frac{ea}{es} \cdot 100 \quad (3)$$

A pressão parcial ou atual de vapor (ea) varia desde zero para o ar seco até um valor máximo denominado de pressão de saturação de vapor d'água (es). O valor de "es" aumenta com a temperatura de uma forma aproximadamente exponencial, podendo ser expressa pela equação de Tetens eq. (4) (Blair & Fite, 1964).

$$es = 0,6108 \cdot 10^{\left[\frac{7,5 \cdot T_{ar}}{237,3 + T_{ar}} \right]} \quad (4)$$

onde

es = pressão parcial de saturação de vapor d'água à temperatura (T_{ar}), kPa e

T_{ar} = temperatura do ar correspondente à temperatura do termômetro de bulbo seco, °C.

A pressão parcial de vapor d'água pode ser determinada pela equação psicrométrica (Blair & Fite, 1964), utilizando o psicrômetro como instrumento de medida, o qual será discutido no item 2.2.1.1.

A umidade relativa também pode ser determinada pela eq. (5).

$$UR = \frac{UA}{US} \cdot 100 \quad (5)$$

onde

UA = umidade absoluta na condição da atmosfera atual, e

US = umidade absoluta de saturação na mesma temperatura.

No estudo termodinâmico do vapor d'água no ar, desde que a situação não seja de condensação, pode-se considerar que tanto o vapor d'água como a massa de ar seco comportam-se como uma mistura de gases ideais à baixa pressão. Quando a lei dos gases ideais é aplicada ao vapor d'água, a pressão atual do vapor é dada pela, eq. (6).

$$ea.V = n.R.T \quad (6)$$

onde

ea = pressão parcial ou atual de vapor, kPa;

V = volume do sistema, m³;

n = número de moles de água presente no volume;

R = constante universal dos gases ideais (8,3143 J mol⁻¹ K⁻¹) e

T = temperatura, K.

Substituindo-se “n” por $\frac{m}{M}$, onde “m” é a massa de vapor existente, e “M”, a massa molecular da água, fazendo $\frac{m}{V} = \mu$ (massa específica do vapor da água), obtém-se eq. (7).

$$ea = \frac{\mu.R.T}{M} \quad (7)$$

Essa massa de vapor d'água por unidade de volume do ar atmosférico é também denominada umidade absoluta, conforme Pearcy et al. (1989) e pode ser calculada pela equação eq. (8).

$$\mu = 217 \cdot \frac{ea}{T} \quad (8)$$

onde

μ = densidade do vapor, g de H₂O / m³ de ar;

ea = pressão atual de vapor d'água em kPa;

T = temperatura em K.

Outra maneira de quantificar a massa de vapor d'água na atmosfera é a umidade específica (q), que é a razão entre a densidade do vapor d'água e a densidade do ar úmido. Pode-se determinar o valor de "q" pela eq. (9).

$$q = 0,622 \cdot \frac{ea}{(P_{atm} - 0,379 \cdot e)} \quad (9)$$

Se o ar atmosférico for resfriado sem perda ou ganho de vapor d'água, chegará a uma temperatura em que a umidade relativa do ar atingirá 100%. Qualquer resfriamento abaixo desse valor provocará condensação do vapor recebendo o nome de temperatura de ponto de orvalho, sendo de grande utilidade na determinação da umidade atmosférica, já que se pode resfriar o ar ambiente na circunvizinhança até a temperatura de saturação (Tubelis, 1986).

2.2.1 Medidas da umidade atmosférica

A umidade relativa do ar é medida normalmente por psicrômetros, higrômetros, e registrada por higrógrafos, embora atualmente existam sensores eletro – eletrônicos que também permitem o monitoramento da umidade instantânea ou contínua, quando operados com sistemas de aquisição de dados.

2.2.1.1 Psicrômetro

O instrumento de referência utilizado para a medição da umidade do ar é o psicrômetro, constituído basicamente por dois termômetros comuns, sendo que um deles tem seu bulbo envolto por um tecido, embebido em água destilada. Simultaneamente, outro termômetro de bulbo seco indicará a temperatura do ar ambiente. Para a evaporação, a água absorve calor do bulbo úmido, portanto o termômetro de bulbo úmido indica temperatura inferior àquela indicada pelo termômetro de bulbo seco, a não ser que o ar esteja saturado e não haja evaporação.

A precisão dos valores de umidade relativa obtidos pelo psicrômetro (temperaturas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido) vai depender da precisão dos termômetros utilizados. Mesmo quando existem outros instrumentos para medir a umidade relativa do ar, os psicrômetros são usados, freqüentemente, como padrão de calibração (Percy et al., 1989).

Há vários tipos de psicrômetros, dentre eles pode-se citar o psicrômetro não-ventilado e o psicrômetro ventilado ou aspirado, o qual possui um mecanismo de ventilação acoplado ao psicrômetro comum. Apartir desse instrumento, a pressão parcial de vapor d'água “ea” pode ser determinada, utilizando-se a equação psicrométrica, eq. (10), (Blair & Fite, 1964).

$$e_a = e_{su} - A \cdot P_{atm} \cdot (T_s - T_u) \quad (10)$$

onde

e_a = pressão parcial ou atual de vapor, kPa;

e_{su} = pressão de saturação de vapor a temperatura do termômetro de bulbo úmido, kPa;

A = coeficiente psicrométrico, $0,00067 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para psicrômetros com ventilação forçada ou $0,00080 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para psicrômetros sem ventilação forçada;

T_s = temperatura do termômetro de bulbo seco, $^\circ\text{C}$;

T_u = temperatura do termômetro de bulbo úmido, $^\circ\text{C}$ e

$(T_s - T_u)$ = depressão psicrométrica, $^\circ\text{C}$.

2.2.1.2 Higrômetro de fio de cabelo

Seu funcionamento baseia-se na variação do comprimento do fio de cabelo humano de acordo com a umidade do ar a que é submetido. Esta variação de comprimento é amplificada e indicada sobre uma escala graduada de umidade relativa do ar (Day, citado por Percy et al., 1989).

2.2.1.3 Higrômetro de resistência

Neste equipamento o elemento sensor é constituído de uma espiral coberta por uma solução diluída de cloreto de lítio. A água evapora da cobertura devido ao aquecimento da espiral, provocado pela passagem da corrente elétrica. A taxa de evaporação é função da pressão de vapor do ar circunvizinho. Ao secar a solução de cloreto de lítio, a resistência elétrica da espiral aumenta, ocasionando redução da corrente e, conseqüentemente, o resfriamento da espiral. Alternando o aquecimento e resfriamento da espiral tem-se um equilíbrio da temperatura e umidade, o qual pode ser calibrado pela pressão de vapor ambiente (Percy et al., 1989).

2.2.1.4 Higrômetro de ponto de orvalho

O higrômetro de ponto de orvalho consiste de uma câmara que contém um espelho metálico, o qual é resfriado até que a luz nele refletida varie em resposta à formação de orvalho. A temperatura do espelho é então fixada por meio de um sistema eletrônico de “feedback”, assim que a temperatura do ponto de orvalho é atingida, usando-se um fotodetector como sensor.

A temperatura do espelho medida com precisão por meio de um termômetro de resistência de platina ou termistor, é igual à temperatura do ponto de orvalho do ar ambiente. Este instrumento é muito preciso e estável, visto que fornece precisão e desvio de 0,2°C abaixo ou acima do valor real do ponto de orvalho.

A principal fonte de erro deste instrumento está na contaminação da superfície do espelho por soluções ou sais que podem afetar o ponto de orvalho (Pearcy et al., 1989).

2.2.1.5 Higrômetros espectroscópicos

São instrumentos baseados na análise espectral e têm sido largamente utilizados em laboratórios, mas só recentemente foram desenvolvidos para medições de campo. Possuem a grande vantagem de fornecerem respostas rápidas (alguns milésimos de segundos) e serem sensíveis a valores baixos de umidade relativa (Pearcy et al., 1989). Podem ser acoplados a sensores com luz ultravioleta, e distinguem a absorção da luz pelo vapor d'água e pelo oxigênio, mediante radiação de $3,0 \times 10^{-5}$ mm.

2.2.1.6 Higrômetro que utiliza sensor capacitivo

Alguns dispositivos como os capacitores têm sido utilizados como sensores de

umidade atmosférica. Estes tipos de higrômetros são bastante sensíveis e apresentam variação linear da capacitância elétrica, com umidade relativa entre 0 a 75% e precisão em torno de 2%. Nesta faixa o tempo de resposta é muito rápido, em torno de alguns milésimos de segundo, embora torne-se mais lento com a redução da umidade relativa (Pearcy et al.,1989).

2.3 Sistemas de automação

Os sistemas de automação permitem monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e automática. O controle visa monitorar tarefas rotineiras e respostas comuns a certas características do ambiente (onde ambiente significa tudo o que existe em torno do sistema de controle, inclusive animais).

Existem inúmeros exemplos de sistemas de automação de aquisição de dados com os mais variados graus de complexidade. Todos eles, entretanto, têm alguns pontos comuns que os caracterizam. Na maioria dos casos, também é necessário pelo menos um controlador inteligente e possivelmente um meio pelo qual diferentes unidades do sistema possam comunicar-se entre si e com o meio externo (Fialho, 1999).

2.3.1 Sensores

A maioria dos sistemas de automação necessita de algum tipo de parâmetro que lhes permita avaliar o estado atual do ambiente. Esta interface, geralmente, consiste de sensores que medem características do local, tais como temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa, e outros.

Estabelecendo um paralelo com o corpo humano, os sensores correspondem aos olhos, ouvidos, papilas gustativas e demais órgãos responsáveis pelos sentidos. Esses órgãos captam mensagens do ambiente e a transformam num pulso

nervoso que é transmitido ao cérebro, onde essas mensagens são processadas. Da mesma forma, sensores captam mensagens do ambiente e as transformam num impulso elétrico. Esse impulso é, geralmente, transmitido a um controlador central, que reage às mensagens segundo um método pré-estabelecido (Fialho, 1999).

Um termostato é um exemplo simples de um sistema automatizado. Pode-se estudar as características de um termostato e relacioná-las com características gerais de sistemas de automação. Uma comparação desse tipo permite compreender alguns dos princípios fundamentais que devem estar presentes nesses sistemas. Assim, um termostato possui um sensor que é usado para detectar variações na temperatura ambiente. O mecanismo de funcionamento desse sensor pode variar, mas o resultado esperado é basicamente o mesmo: o sistema deve reagir de modo diferente a diferentes temperaturas. Numa simplificação extrema, um termostato simples faz com que um aparelho qualquer fique ligado quando a temperatura estiver abaixo de um determinado limite e desligado quando a temperatura estiver acima desse limite (ou vice-versa) (Pearcy, 1989).

Dependendo do tipo de sensor o sistema terá maior ou menor precisão. Por exemplo, um sensor simples de temperatura pode ser baseado na propriedade dos metais em se dilatarem com o calor. Duas lâminas de metal posicionadas adequadamente podem entrar em contato uma com a outra quando a temperatura for alta e separarem-se quando a temperatura for baixa, devido à dilatação e à contração, respectivamente. Utilizando um circuito elétrico no qual a eletricidade deva fluir entre as lâminas de metal, é possível ligar um aparelho quando as lâminas estiverem em contato e desligá-lo quando elas estiverem separadas (Silva, 1998).

Este mecanismo é bastante rudimentar e de difícil calibração. Além disso, não é possível medir a temperatura, mas apenas detectar se ela está acima ou abaixo de um valor não muito preciso. Regular a distância entre as duas lâminas de metal para que o termostato ligue ou desligue o aparelho a uma determinada temperatura pode ser difícil e o resultado provavelmente não será muito exato.

Uma alternativa para evitar erros de leitura desse tipo é usar sensores digitais, mais modernos. Existem sensores de temperatura que são ligados num circuito integrado (“chip”) pequeno, que podem ser usados ao invés de termopares. Esses “chips” medem a temperatura usando um circuito oscilador de alta precisão e convertem o valor num sinal digital que é transferido por um cabo semelhante a um cabo telefônico, segundo um protocolo específico, até um microcontrolador (Percy, 1989). O sistema digital oferece muitas vantagens em relação ao sistema analógico, pois um sinal digital é menos sensível as interferências eletromagnéticas e além disso, o protocolo de comunicação estabelece um mecanismo que permite detectar e corrigir erros de transmissão (Silva,1998).

Cada “chip” possui um número de série que o diferencia dos demais “chips”, de modo que vários podem ser interligados pelo mesmo cabo e assim o protocolo de comunicação permite ler a temperatura de cada um dos sensores separadamente. Desse modo, pode-se substituir vários cabos de termopar por um único cabo telefônico, de custo bem menor. Cabe ressaltar que o uso de sistemas digitais também permite ler a temperatura com mais precisão com intervalos de até 0,1°C (Fialho,1999).

Existem outros tipos de sensores de temperatura além dos descritos acima, como também muitos outros especializados em medir uma variedade de fenômenos. Todos eles, no entanto, têm um ponto em comum, servem para captar algum tipo de informação e transformá-la em uma forma interpretável.

2.3.2 Atuadores

Os sistemas de automação não se resumem à coleta de informação a respeito de um ambiente físico. Na sua maioria, eles também atuam sobre o local, geralmente em resposta a algum estado detectado pelos sensores. O mecanismo de funcionamento dos atuadores é consideravelmente mais simples que o de sensores. De

uma maneira geral, os impulsos elétricos controlam quais serão os aparelhos que estarão ligados ou desligados.

Em geral, a potência do impulso que sai do sistema de controle é baixa. Isso faz sentido, considerando-se que a principal função de um sistema de automação é o processamento e distribuição de informação. No entanto, freqüentemente é necessário controlar aparelhos de maior potência, devendo o sinal de saída ser amplificado, com relés ou algum dispositivo semelhante (Silva, 1998).

O número de tipos de atuadores é gigantesco. Basicamente qualquer coisa que pode ser controlada de uma forma ou outra pode ter a função de atuador. Alguns exemplos gerais são motores (e qualquer coisa que tenha um motor), resistências elétricas, luzes, válvulas, e outros.

2.3.3 Controladores

Para que um sistema de automação cumpra sua tarefa, os sensores e atuadores devem funcionar em harmonia.

Os controladores são circuitos elétricos com maior ou menor grau de sofisticação. Pode-se dizer que um circuito controlador, geralmente, está constituído em torno de um microcontrolador programável, que é um pequeno computador contido dentro de um “chip”.

Existem diversos tipos de microcontroladores cada um com sua linguagem de programação e características próprias. A placa do controlador pode ter outros “chips”, além do microcontrolador central, como memória para armazenar informação, conversores analógico-digitais, circuitos de comunicação e outros. O microcontrolador deve ser programado em função dos sensores e atuadores que serão a ele conectados e dos demais componentes do sistema (Fialho, 1999).

2.3.4 Comunicação

Um sistema de automação pode ser constituído por uma única unidade de controle e outra possibilidade é que existam várias unidades descentralizadas interligadas, de modo semelhante a computadores ligados em rede.

A comunicação não se limita apenas à rede de controladores, um ou mais controladores podem estar ligados a terminais de computador, de onde se pode controlar o sistema. Essa conexão pode ser permanente ou intermitente (é possível que um computador portátil seja conectado ao sistema apenas para programar e configurar o mesmo). Um terminal de computador, por sua vez, pode estar ligado a uma rede de computadores e essa ligada à “Internet”, para que um usuário possa monitorar o sistema a distância (Fialho, 1999).

2.3.5 Automação na agropecuária

Os sistemas de automação têm grande potencial de uso na agropecuária e são utilizados na agricultura e zootecnia de precisão, para automatizar processos, monitorar melhor os sistemas, otimizar a produção e reduzir perdas (Silva, 1998).

Um sistema bem elaborado pode responder a situações de adversidade de forma inteligente, evitando que um problema se agrave. Em último caso, um sistema de alarme pode ser acionado, para chamar a atenção do produtor para possíveis problemas. Mesmo que o produtor esteja ausente da propriedade, é possível, por exemplo, que um sistema mais sofisticado disque para um aparelho de telefone automaticamente e toque uma de várias mensagens pré-definidas, alertando o produtor ou responsável de plantão a respeito da ocorrência (Fialho, 1999).

2.3.6 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão envolve o uso de tecnologias modernas para reduzir perdas localizadas e aumentar a produção agrícola. Os sistemas de automação são muito importantes nesse contexto, pois permitem o controle simultâneo de um número muito maior de fatores do que é possível manualmente (Silva, 1998).

2.3.7 Zootecnia de precisão

Em sistemas de produção animal, é possível reduzir perdas localizadas e melhorar a eficiência, utilizando princípios de zootecnia de precisão. Isso é feito por meio de um controle mais rigoroso do uso de insumos, do rebanho e do ambiente (Nääs, 1999).

2.3.8 Controle do ambiente

O ambiente térmico pode exercer grande influência na produção animal, assim sendo o controle automatizado de instalações já é bastante utilizado, principalmente em aviários.

O sistema de controle ambiental pode variar em complexidade desde um sistema simples, que liga e desliga ventiladores dependendo da temperatura, até sistemas complexos, que medem temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, concentração de amônia e outros. Os sensores utilizados no controle ambiental, geralmente, são sensores de temperatura do ar e, possivelmente de umidade relativa, tanto dentro da instalação como no exterior da mesma.

Em função dessas duas variáveis, é possível estimar o conforto ambiental percebido pelos animais e atuar adequadamente (Fialho, 1999).

2.4 Sistemas de aquisição de dados

As medidas ambientais ou variáveis referentes a plantas devem ser registradas de modo a atender às necessidades da pesquisa. Para instrumentos onde os sinais não são lidos com frequência e podem ser copiados num caderno, medidores analógicos (ponteiro e escala) ou digitais (mostrador numérico) podem ser satisfatórios. Entretanto, freqüentemente, valores devem ser registrados por longos períodos de tempo, o que pode ser conseguido utilizando-se de muitos sensores ao mesmo tempo ou a uma alta frequência de amostragem, tornando-se essencial algum tipo de sistema de registro, sob qualquer uma destas circunstâncias.

Dessa forma, são diversos os requerimentos em sistemas de registro para diferentes aplicações em ecofisiologia. Os vários tipos de equipamentos registradores, “data-loggers” e sistemas de obtenção de dados de uso em ecofisiologia serão discutidos.

2.4.1 Medidores e registradores analógicos

2.4.1.1 Registradores mecânicos

Os registradores mecânicos acionados a partir de um mecanismo de relógio, têm estado disponíveis por longo tempo. Por exemplo, termógrafos utilizam uma tira bimetálica que se curva com a temperatura e, dessa forma, movimentam um braço pivô para registrar a temperatura. Hidrógrafos utilizam mudanças dimensionais em fios de cabelo em resposta à umidade relativa do ar para mover um sistema de caneta mecânica.

Normalmente, esses medidores têm baixa acuracidade e no máximo fornecem apenas uma grosseira indicação a respeito do ambiente. Outro problema apresentado é que os sensores são grandes e os abrigos utilizados por eles são ainda maiores, de forma que os mesmos têm pouca valia em estudos micrometeorológicos.

Eles devem ser alojados dentro de abrigos para se evitar erros devido à radiação. (Pearcy, 1989).

2.4.1.2 Medidores e registradores eletrônicos analógicos

Os medidores, registradores eletrônicos possuem canetas movidas a um mecanismo que deixam sua impressão numa tira de papel, aceitando um sinal elétrico (geralmente em volts) a partir de um conversor de sinais.

Os medidores do tipo x/y têm entrada de dados separada para o eixo x e y, enquanto que os medidores de gravação dos dados em tiras, dependem do acionamento de um tambor registrador que transporta o papel a uma determinada velocidade e um acionador da caneta que a movimenta a uma distância proporcional ao sinal do conversor em uma direção perpendicular ao movimento do papel.

Muitos mecanismos diferentes estão em uso para esse tipo de registro, muitos dos quais têm pouca relevância para a ecofisiologia. O tipo mais comum e útil é o registrador potenciométrico, no qual a entrada de dados de voltagem é comparada com uma voltagem de referência derivada de um potenciômetro.

Amplificadores típicos e circuitos divisores de tensão para entrada de dados permitem uma seleção apropriada de faixa de voltagem recebida para ajustar-se à saída de dados do conversor de sinal (Silva, 1998).

Muitos problemas podem ser encontrados quando registradores potenciométricos são utilizados no campo, podendo-se citar:

- Unidades movidas à bateria estão disponíveis, mas os acionadores de papel requerem uma energia considerável e a vida da bateria é curta.
- Canetas à tinta tendem a entupir, vazar ou secar em horas inoportunas. Os componentes mecânicos da caneta e acionador de papel podem ser afetados adversamente, particularmente por baixas temperaturas.

- O mecanismo de posicionamento da caneta pode ser bem preciso, mas infelizmente o papel não é dimensionalmente estável e expande e encurta com mudanças de umidade e temperatura. Em termos práticos, isso limita a acuracidade a aproximadamente 1% da escala completa.
- Finalmente, a obtenção dos dados impressos reduz ainda mais a acuracidade e pode facilmente se tornar uma tarefa impossível.

Para a maioria das outras aplicações, medidores digitais, que serão discutidos abaixo, oferecem uma melhor solução (Pearcy, 1989).

2.4.2 Medidores digitais

Os “data loggers” são medidores essencialmente digitais que dependem da conversão de sinal analógico para digital via um conversor analógico/digital (A/D). São capazes de operar num módulo não supervisionado e os projetados para uso em campo podem ser deixados em operação por períodos variando de semanas a meses, uma vez que estejam protegidos adequadamente das condições atmosféricas e vandalismo (Dias, 1998). O sinal digital pode então ser processado posteriormente via um microprocessador e armazenado numa memória, impresso ou gravado num meio magnético como, por exemplo, disquetes ou fitas.

A saída de dados para um meio de armazenamento, como por exemplo, em fitas, é controlada por um dispositivo de entrada/saída (I/O) e em muitos “data loggers”, o microprocessador, juntamente com instruções pré-armazenadas, permite ao usuário o controle do mesmo por meio de comandos via teclado (Pearcy, 1989).

2.4.3 Comunicação com computadores

Devido aos “data loggers” serem capazes de acumular grande quantidade de dados, alguns meios para transferência destes dados a um computador se fazem necessários. Quando a informação é armazenada em fita para futura transferência ao computador, leitores especializados são necessários para traduzir os sinais magnéticos da fita em sinais digitais eletrônicos e então transferi-los. Atualmente nos “data loggers”, os módulos de memória definida são usados no lugar das fitas.

Os módulos de memória são mais caros que as fitas cassete padrão usadas em muitos sistemas, mas há menor probabilidade de ocorrer pane e também utilizam menos energia.

O armazenamento de dados em fitas ou memórias definidas são boas soluções quando o “data logger” vai operar de forma não supervisionada (Pearcy, 1989).

As comunicações com computadores por meio de cabos, linha telefônica ou por sistemas de rádio, ocupam lugar no mercado, devido a rapidez e comodidade na obtenção dos dados.

2.4.4 Características de “data loggers” e sistemas de obtenção de dados

Existe um certo número de “data loggers” portáteis comercialmente disponíveis, assim como sistemas de obtenção de dados para computadores portáteis que são apropriados para uso em campo.

Estes sistemas compartilham muitos elementos comuns, mas também diferem em aspectos importantes que influenciam na sua capacidade para algum uso particular. Além do mais, modelos novos estão continuamente sendo introduzidos de forma que é sábio consultar os fabricantes antes de tomar decisões com relação às suas adequabilidades na resolução de problemas específicos.

Ao invés de descrever os sistemas individuais em detalhes, as características gerais de importância em medidas eco-fisiológicas serão discutidas.

(a) Faixas de medida

Muitos conversores de sinais para uso em ecofisiologia, produzem baixo nível de sinais de voltagem (milivolt). Conseqüentemente, sistemas para uso com estes sensores devem possuir uma faixa de entrada de dados capaz de medir sinais na faixa de 1-10 mV com uma resolução de pelo menos 5 μ V e preferencialmente 1 μ V. Muitos dispositivos para obtenção de dados para computadores pessoais não têm esta capacidade, enquanto que a entrada de dados de sinais pode ser amplificada para fornecer maior sensibilidade à resolução e este procedimento freqüentemente introduz ruído, a menos que os aparelhos estejam cuidadosamente ajustados.

Sistemas projetados para medições de nível baixo irão geralmente ter uma instrumentação para ampliar o sinal até um nível compatível com o conversor A/D. É muito melhor investir mais em um sistema bem projetado capaz de efetuar medições de níveis baixos do que tentar adicionar amplificadores posteriormente. Os sistemas devem ser também compatíveis com medições de sinais de nível alto (1-5 V), uma vez que a saída de dados de conversores de sinais de pressão, analisadores infra-vermelho de gases, medidores de fluxo, etc..., atuam tipicamente nesta faixa. (Percy, 1989).

(b) Número de canais

O número de sensores requeridos em qualquer conjunto de medições difere amplamente e irá, portanto, influenciar a escolha do "data logger". Os sistemas menores geralmente têm de seis a oito canais de entrada, enquanto que os sistemas maiores podem ser expandidos para até centenas de canais.

Alguns "data loggers" pequenos podem ser expandidos para um total de aproximadamente 200 canais por meio da adição de multiplexadores (Dias, 1998).

(c) Armazenamento de dados

Os “data loggers” de campo geralmente possuem memórias internas capazes de armazenar um número limitado de leituras. Isto pode variar de 4K de memória, permitindo um armazenamento de poucas centenas de valores, a até 64K, possibilitando o armazenamento de até 20.000 dados.

Grandes armazenamentos são usualmente feitos utilizando-se gravadores de memória definida e a transferência de dados a partir de grandes armazenamentos para um computador, geralmente requer um apetrecho de leitura especializado. Os sistemas de obtenção de dados dependem da memória e do sistema de grande armazenamento do computador mestre (Percy, 1989).

Atualmente os discos rígidos e disquetes são os dispositivos preferidos para armazenamentos de dados pois são de fácil acesso, transporte e os dados podem ser transferidos para qualquer computador.

(d) Programação

Quase todos os “data loggers” possuem um pequeno teclado e um mostrador permitindo a entrada de um programa ou séries de comandos para se controlar sua operação. Alguns podem ser programados via computadores portáteis conectados a um módulo de interface ou até remotamente programados via "modem". Os sistemas de obtenção de dados dependem do computador mestre e, portanto, apresentam grande flexibilidade quando o sistema é considerado como um todo (Silva, 1998).

(e) Frequência de amostragem

A frequência de amostragem é geralmente escolhida pelo operador e alguns sistemas permitem a escolha de diferente faixas de freqüências amostrais a partir de uma

por minuto ou por 10 minutos. Muitos permitem amostragem a níveis de 1 por segundo ou até mais rápidas.

É importante reconhecer que a faixa amostral obtida depende do tempo requerido para uma única medição, do número de canais escaneados, do processamento feito com dados brutos e da velocidade na qual eles são transferidos para o aparelho de armazenagem. As vezes, as faixas de amostragem máximas dadas em especificações não incluem tempos de transferência ou o tempo requerido para processamento ou controle (Percy, 1989).

(f) Condições ambientais

Os “data loggers” para campo devem ser capazes de operar sob uma ampla gama de temperaturas e níveis de umidade e devem ser cuidadosamente projetados para evitar erros devidos a efeitos ambientais (Dias, 1998).

2.5 “ Basic Stamp^R”

O “Basic Stamp” é um microcontrolador de dimensões reduzidas e de baixo custo, facilmente programável em “BASIC”, podendo ser utilizado em qualquer microcomputador. O seu nome deve-se ao fato de que o mesmo é do tamanho de um selo postal (“stamp” em inglês) Bernardes, (1996).

O BASIC Stamp^R modelo BS2-1C, é um computador completo encapsulado em um módulo de 14 pinos. O cérebro do BASIC Stamp^R é um “chip” de 18 pinos que contém o interpretador BASIC. Uma memória EEPROM de 256 bytes armazena uma versão compactada do seu programa que é executada pelo interpretador. O restante do circuito é composto por um oscilador de 4Mhz, um regulador de 5 volts e um circuito de “power on reset” (entrada e saída de dados). Possui um “carrier board”,

(placa onde se tem todas as conexões necessárias para colocar em funcionamento o BASIC Stamp^R) correspondente, que providencia as conexões para a bateria de 9 volts e para o computador pessoal além de conter uma área para protótipo e um botão de “reset”(reiniciar), Figura 1.

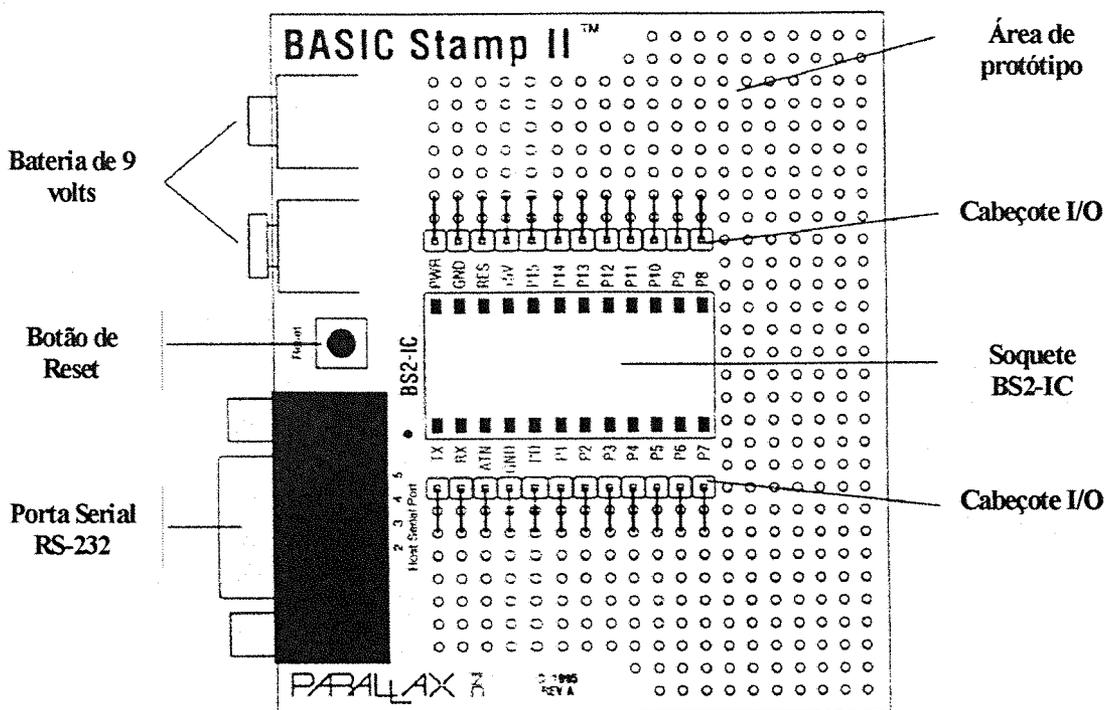


Figura 1 - Placa para protótipo que acompanha o “kit” do BSII (Carrier board)

Este sistema pode ser aplicado para resolver uma vasta gama de problemas de controle, sem a necessidade de usar circuitos dedicados e complexos, como por exemplo na indústria, em automação de processos, máquinas e equipamentos, linhas de montagem, linhas de teste, banhos químicos, controle de nível de líquidos, controle de temperatura. No comércio, como mini terminal para automação de controle de estoque, pedidos e vendas. Na segurança, no controle de acesso, alarmes, simulações aleatórias de presença, controle de portão automático. Na educação, no ensino de programação, eletrônica digital, robótica e automação de processo, trabalhos e projetos disciplinares. No setor automotivo, na confecção de alarme, bloqueador, contagiros, medidor de consumo. Em casa, no controle de eletrodomésticos, iluminação, nível de

caixa d'água e no modelismo como controle de mecanismos para aeromodelos, automação de ferromodelismo e automação de maquetes.

No Brasil, alguns autores desenvolveram uma série de trabalhos utilizando o “Basic Stamp”, que vem sendo publicados em revistas da área de Eletrônica desde Abril de 1996 e que continuam até os dias de hoje. Dentre eles pode se citar Bernardes (1996).

Bernardes (1996), utilizou o “Basic Stamp” para automatização de um sistema de caixa d'água predial. Para exemplificar a aplicação nota-se que na maioria dos prédios tem-se um sistema que consiste basicamente de duas caixas d'água sendo uma subterrânea e outra no topo do edifício. A subterrânea é enchida com água vindo diretamente da rua, onde a pressão da água é suficiente para tanto. A caixa d'água no topo do edifício necessita ser enchida com água vindo da caixa subterrânea utilizando uma bomba d'água. Com o uso do “Basic Stamp” pode-se instalar um sistema inteligente, que monitora o nível das caixas d'água, sensores de proteção do motor e de vazamento e mantém a caixa d'água principal sempre cheia.

A análise de custos de um projeto passa a ser um dos critérios de decisão para a sua implantação. Portanto, para atender as necessidades do mercado, o produtor tem que adequar sua produção cada vez mais as exigências do consumidor, procurando sempre obter um produto de qualidade e ofertá-lo com maior rapidez. O produtor por meio da automatização da sua produção visa economizar tempo e mão de obra. Bernardes (1997), utilizando o “Basic Stamp” como controlador para automação na avicultura, desenvolveu um comedouro automático onde a ração armazenada no silo é transportada, até o seu destino final quando cai no prato de alimentação.

Jackson (1998) construiu uma estação meteorológica automatizada utilizando os recursos do sistema de aquisição de dados do “Basic Stamp”, no qual armazena os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outros.

Existem no mercado vários outros tipos de sistemas de aquisição com a mesma finalidade de obter e armazenar dados meteorológicos, sendo o preço e a qualidade do produto as características básicas para sua escolha.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Física do Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, sendo conduzido em duas etapas:

- a) montagem do sistema acoplado a um microcomputador;
- b) calibração dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar.

3.1 Material para montagem do sistema de aquisição de dados acoplado a um microcomputador.

Para a implantação deste experimento utilizou-se o sistema BASIC STAMP^{II} (BSII, PARALLAX Inc. (R)) como microcontrolador para aquisição dos dados de temperatura e umidade relativa do ar. Um fornecedor que comercializa este equipamento no Brasil, é a Anacom (www.anacom.com.br), sendo o preço em dólar do “kit” BASIC Stamp^{II} de US\$ 149,00 consultado no endereço eletrônico da PARALLAX Inc. (www.parallaxinc.com), composto pelo BASIC Stamp^{II}, placa de montagem (carrier board), programa de conexão ao microcomputador, cabo e manual explicativo e de explicações.

O esquema de pinos do BASIC Stamp^I que é mais simples está representado na Figura 2. O BASIC Stamp^{II} possui 16 “bytes” de RAM dedicados para I/O e armazenamento de variáveis. Os dois primeiros “bytes” são usados para I/O (um para dados e o outro para controle de direção), os outros 14 “bytes” são para dados. A linguagem BASIC do BASIC Stamp^R é muito flexível em nomear variáveis e pinos de I/O.

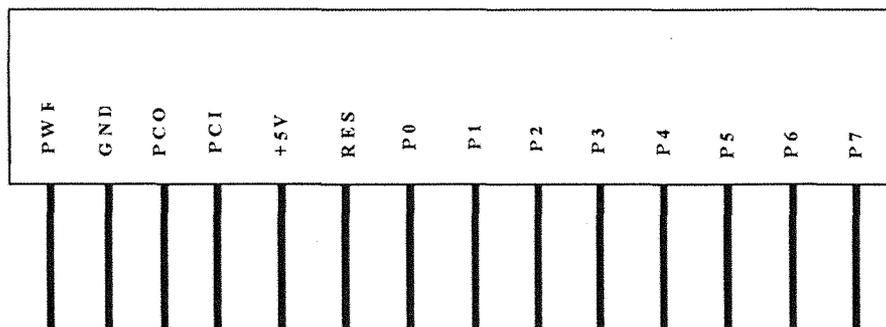


Figura 2 - Representação do esquema de pinos do BASIC Stamp^R

Definição da função de cada pino do BASIC Stamp^R:

PWR - Entrada de força não regulada. Aceita 6 – 15 VDC, que é então regulada para 5 Volts. Não pode ser conectado se for aplicada uma fonte de 5 Volts ao pino + 5V.

GND - “Ground” (terra) do sistema. Conectado ao pino 25 (GND) da porta paralela do PC para programação.

PCO - PC Out. Conectado ao pino 11 (Busy) da porta paralela do PC para programação.

PCI - PC In. Conectado ao pino 2 (DO) da porta paralela do PC para programação.

+5V - Entrada / saída de 5 Volts. Se uma tensão desregulada é aplicada ao pino PWR, então esse pino proverá uma tensão de 5 Volts. Se nenhuma tensão for aplicada ao pino PWR, então uma tensão regulada entre 4,5 V e 5,5 V deverá ser aplicada nesse pino (+5V).

RES - Entrada / saída de RESET. Vai ao nível lógico baixo (zero) quando a tensão de alimentação for menor que 4 Volts, fazendo o BSII ficar na condição de RESET. Pode ser forçado para a condição de nível lógico baixo (zero) para forçar um RESET.

PO-P7 - Pinos de I / O de uso genérico. Cada pino pode fornecer uma corrente de 265mA em pico e 20mA contínuo. Porém a soma de corrente de todos os pinos não pode exceder 50mA de pico e 40mA contínuo.

Na Tabela 2 estão relacionados as descrições dos operadores matemáticos disponíveis. O BASIC Stamp não suporta expressões matemáticas de ponto flutuante e as equações são executadas sempre da esquerda para a direita, independente dos operadores utilizados. Portanto na matemática do BASIC Stamp, $2 + 3 * 4 = 20$ e não 14, como seria o correto (Bernardes,1997).

Tabela 2 – Relação dos operadores matemáticos que podem ser usados em expressões matemáticas do BASIC Stamp^R.

<i>Sinais</i>	<i>Função</i>
+	Soma
-	Subtração
*	Multiplicação (retorna a palavra baixa (low word) do resultado)
**	Multiplicação (retorna a palavra alta (high word) do resultado)
/	Divisão (retorna o quociente)
//	Divisão (retorna o resto)
min	Mantém a variável maior ou igual ao valor
max	Mantém a variável menor ou igual ao valor
&	Operação lógica AND
	Operação lógica OR
^	Operação lógica XOR
&/	Operação lógica AND NOT
/	Operação lógica OR NOT
^/	Operação lógica XOR NOT

O sistema pode ser alimentado por uma bateria de 9 Volts ou por eliminador de baterias ligado na rede de energia elétrica e este conectado ao “Basic StampII”. A conexão do BASIC StampII ao microcomputador, a bateria de 9 Volts conectada ao plugue ou o eliminador de bateria são mostrados na Figura 3A , 3B e 3C.

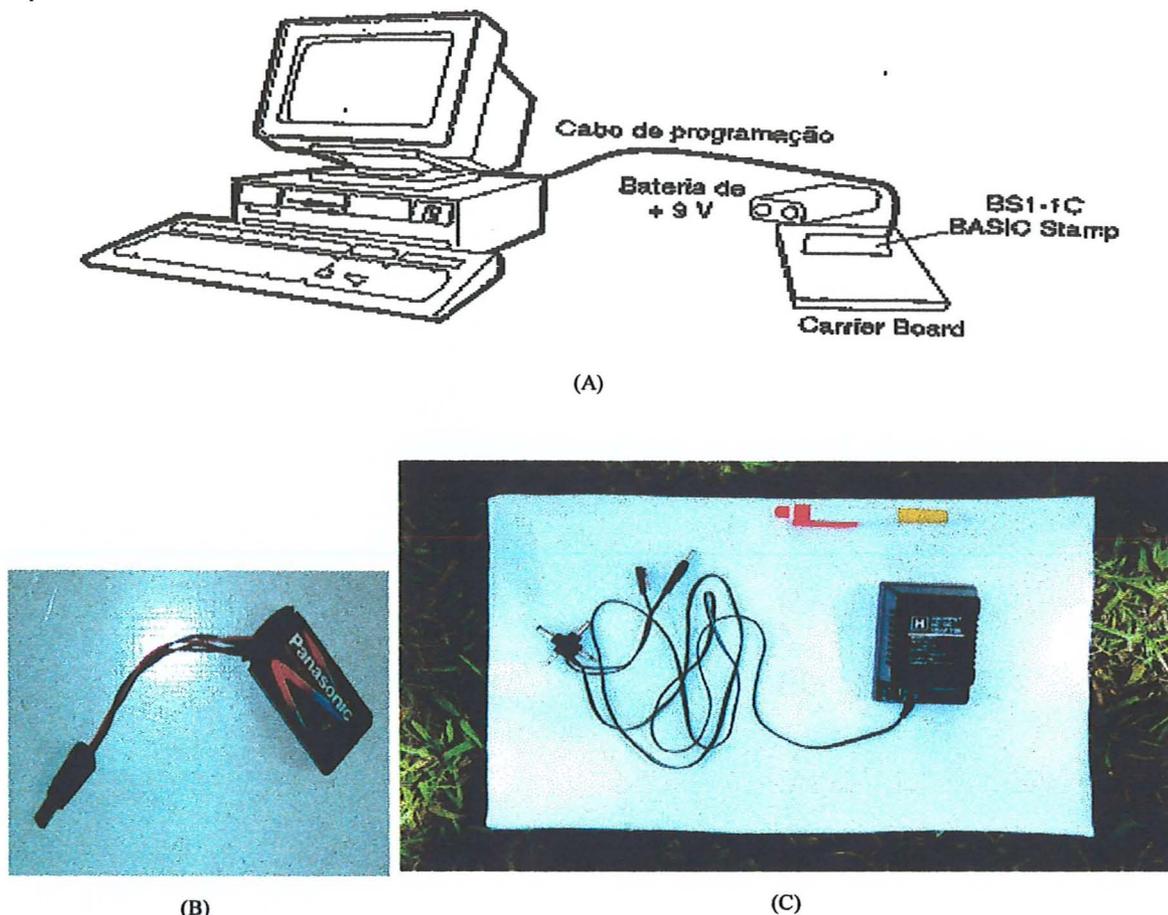


Figura 3 - Esquema de instalação do BSII com o computador pessoal e a bateria (A), bateria de 9V conectada ao plugue (B) e eliminador de baterias (C).

O sensor de temperatura utilizado foi o termistor, fornecido pela Philips Components (código 2322 633 22222), constituído por duas resistências compostas por cobre, níquel e ferro, as quais se encontravam encapsuladas em um tubo de vidro. Este sensor de temperatura possui pequeno diâmetro (12 mm x 3 mm) e responde rapidamente às mudanças de temperatura, apresentando uma alta sensibilidade durante longos períodos de tempo e é resistente a diversos tipos de ambiente.

O sensor de umidade relativa, também da Philips Components (código 2322 691 90001), é formado por uma folha de material não condutivo coberta nas duas faces por uma finíssima camada de ouro (metal condutor), de forma que essa estrutura

corresponde justamente a um capacitor plano. O conjunto é montado num invólucro dotado de pequenos orifícios para acesso do vapor d'água ao dielétrico. O sensor abrange uma faixa de umidade de 10% a 90%, capacitância a 25°C com 43% de umidade relativa numa frequência de 100kHz: 122pF (+/- 15%), sensibilidade entre 12 e 75% de umidade relativa: 0,4 pF/%, faixa de frequências de operação: 1kHz a 1 MHz, tensão máxima AC ou DC: 15V, faixa de umidade para armazenamento: 0 a 100% e temperatura de operação: 0 a 85°C (Braga,1996). Os diagramas esquemáticos dos sensores de temperatura e umidade juntamente com as respectivas dimensões podem ser observados, respectivamente na Figura 4A e 4C. Na Figura 4B e 4D estão representados os sensores de temperatura e umidade relativa do ar respectivamente, na sua forma real, já conectados ao cabo coaxial.

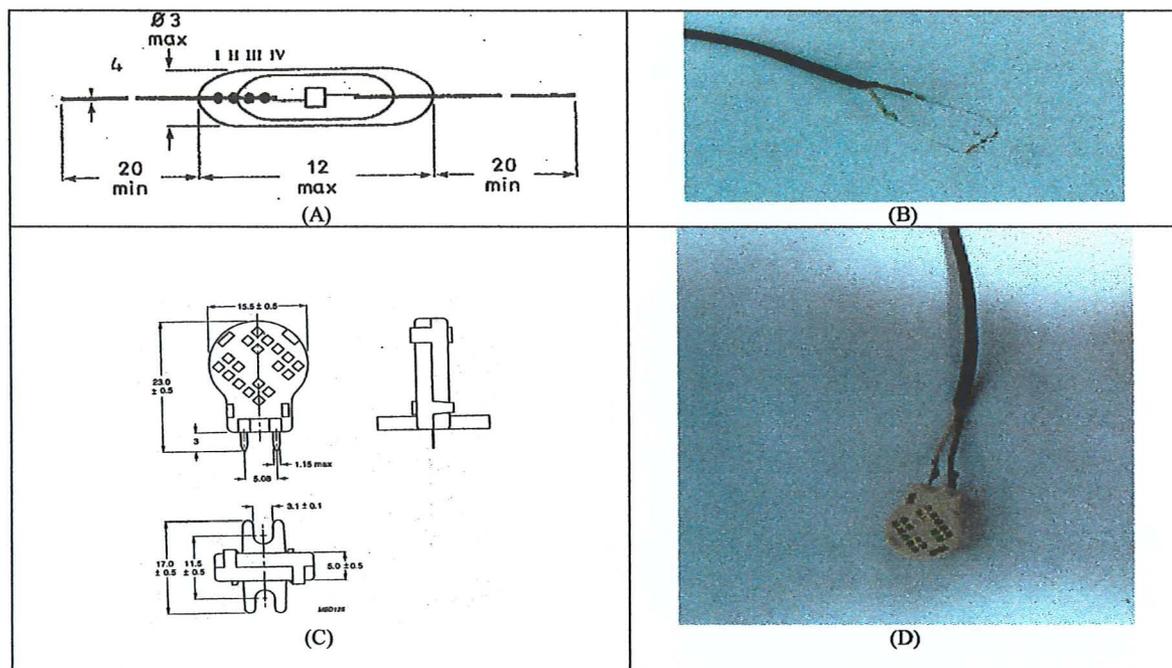


Figura 4 - Diagrama esquemático do sensor de temperatura (A), sensor de temperatura já conectados ao cabo coaxial (B), diagrama esquemático do sensor de umidade relativa (C) e sensor de umidade relativa já conectado ao cabo coaxial (D).

Para a montagem eletrônica do “Basic StampII” e sensores de temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado o seguinte material (Tabela 3).

Tabela 3 - Lista de material utilizado na montagem eletrônica.

Material	Referência
Basic Stamp ^R	BS2- 1C ou BSII
Sensor de temperatura - Philips (NTC) - Termistor	2322 633 22222
a) 1 Capacitor	100 nF – (C6);
b) 1 Resistor	220 – (R5);
c) 1 Resistor	10K – (R6);
Sensor de umidade relativa – Philips (capacitivo)	2322 691 90001
a) 2 Capacitores	33 pF – (C1, C2);
b) 1 Capacitor	1 nF – (C3);
c) 1 Capacitor	10 nF – (C4);
d) 1 Capacitor	2.2 uF – (C5);
e) 1 Resistor	10 M – (R1);
f) 1 Resistor	10 K – (R2);
g) 1 Resistor	1 M – (R3);
h) 1 Resistor	100 K – (R4);
Circuitos integrados	
a) 1 Circuito integrado	CL – 14060;
b) 1 Circuito integrado	555AST;
Conversor	analógico/digital
Bateria	9 volts

3.2 Métodos

3.2.1 Calibração do sensor de temperatura

3.2.1.1 Primeira etapa para calibração do sensor de temperatura

Na primeira etapa de calibração do sensor de temperatura, utilizou-se um recipiente de alumínio, água, termômetro de mercúrio considerado como padrão, suporte para o termômetro de mercúrio e o sensor a ser calibrado. Colocou-se água à temperatura de 50 °C no interior do recipiente de alumínio, e em seguida, o termômetro padrão foi fixado por um suporte juntamente com o sensor de temperatura a ser calibrado, ambos imersos dentro da água .

Começou-se então a coletar os pares de dados fornecidos pelo sensor de temperatura e o termômetro utilizado como padrão num intervalo de tempo de 60 segundos entre cada coleta, iniciando-se com uma temperatura de 50 °C e deixando-se que a mesma se reduzisse naturalmente.

3.2.1.2 Segunda etapa para calibração do sensor de temperatura

Na segunda etapa de calibração do sensor de temperatura utilizou-se como recipiente uma caixa de isopor aberta contendo no seu interior gelo picado, água (utilizada para aumentar a superfície de contato com o gelo), misturador, termômetro padrão e o sensor a ser calibrado. Para a homogeneização da temperatura da água contida no interior do recipiente, foi desenvolvido uma haste de cobre em cuja extremidade fixou-se um retângulo de alumínio de 2,5cm de comprimento por 1,5cm de largura para atuar como misturador, e o movimento rotativo foi obtido fixando-se a haste ao mandril de uma furadeira com velocidade controlada.

A Figura 5, mostra com detalhes a montagem elétrica para controle do misturador. O misturador se encontra preso ao mandril de uma furadeira elétrica (Bosch de 110V, 360W, 420 / 1000 RPM e diâmetro de 13/8 mm) responsável pelo giro. A rotação da furadeira é controlada por um transformador variador de voltagem ligado em paralelo com um voltímetro regulado em fundo de escala 200V.

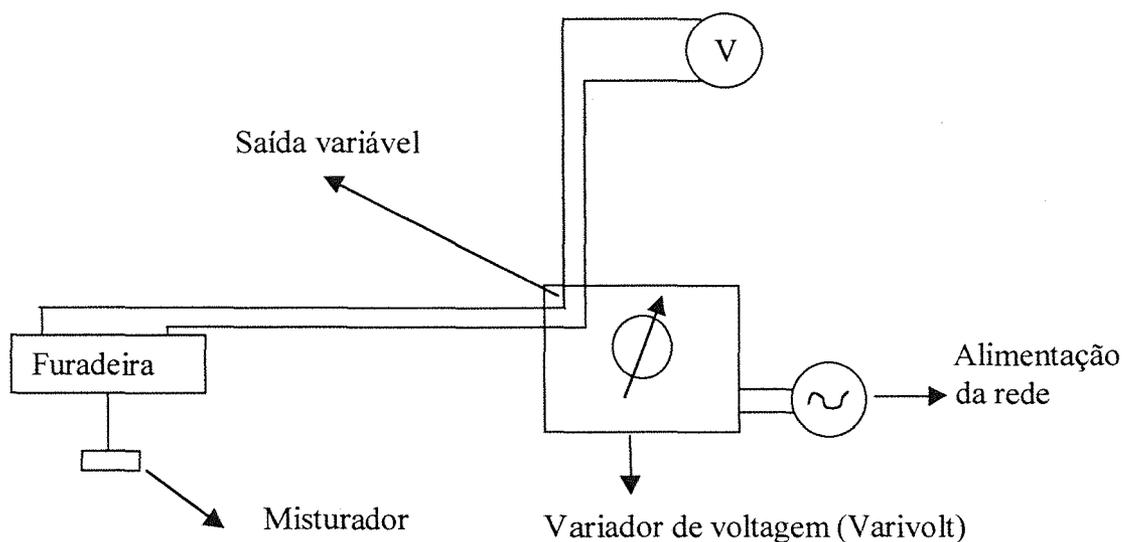


Figura 5 - Esquema da montagem elétrica para controle do misturador de água.

Para se obter a rotação correta do misturador, utilizou-se um “Becker” de 1000 ml, contendo serragem, água e o misturador. A rotação da furadeira, e portanto do misturador, foi controlada por um transformador variador de voltagem (varivolt), (STP, tipo ATV – 115 – 4) (Figura 6A), ligado em paralelo com um voltímetro (Figura 6B). Colocou-se água no interior do “becker”, com um pouco de serragem e em seguida inseriu-se o misturador a uma altura correspondente à metade do “becker”. Neste momento, aumentou-se gradativamente a rotação do misturador e observou-se qual a melhor rotação para homogeneizar a mistura.

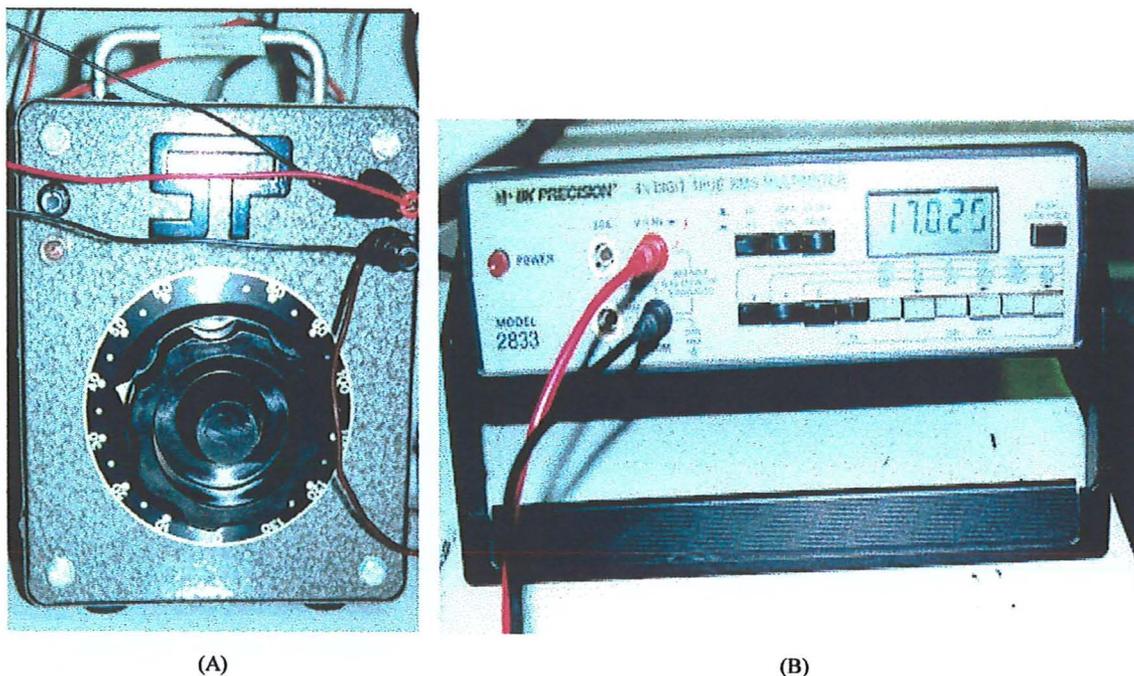


Figura 6 - Variador transformador de tensão (A) e Voltímetro (B).

Para a determinação da altura adequada de fixação do termômetro e sensor de temperatura utilizou-se 1000 ml de água à temperatura inicial de 0 °C, que foi se elevando gradativamente de acordo com o ambiente, em uma caixa de isopor aberta (dimensões: 19 cm de comprimento, 10 cm de largura e 13,8 cm de altura) e um misturador afim de homogeneizar a temperatura do líquido.

Observou-se que quando a água entrava em equilíbrio com o ambiente, em qualquer posição do termômetro, a temperatura medida permanecia constante, devido ao pequeno volume da caixa de isopor face à capacidade do agitador. Deste modo, estipulou-se uma altura padrão para o termômetro e o misturador e sempre antes das leituras esperava-se a água entrar em equilíbrio, agilizado pelo misturador.

Com a água, gelo picado e o misturador a uma rotação correspondente a uma tensão de 17 Volts, aguardou-se 30 minutos para a água e o gelo entrarem em equilíbrio no interior da caixa de isopor aberta, iniciando-se então o processo de medição, cujos valores eram obtidos à medida que as leituras do termômetro fossem variando naturalmente com o ambiente.

3.2.1.3 Terceira etapa para calibração do sensor de temperatura

Para melhorar o sistema anterior foi confeccionado um “banho-maria”, desenvolvido em laboratório, utilizando-se a caixa de isopor da segunda etapa, porém, fechada (Figura 7A), cuja tampa serviu de suporte para os seguintes componentes: resistor de aquecimento do banho, termômetro padrão, sensor de temperatura a ser calibrado e misturador, Figura 7B.

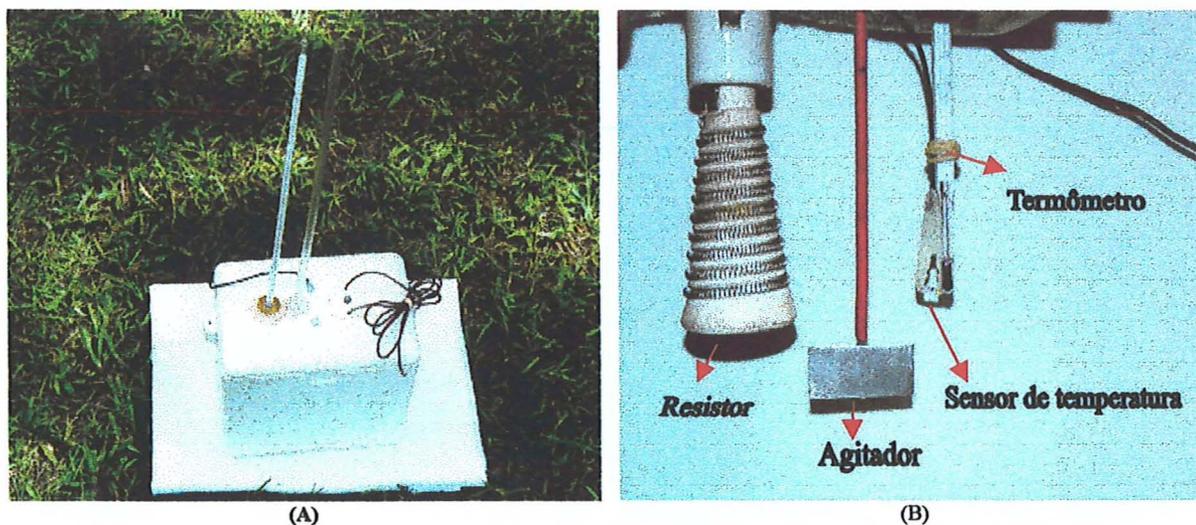


Figura 7 - Caixa de isopor utilizada na confecção do banho-maria (A) e disposição dos instrumentos utilizados na calibração (B).

O termômetro padrão e o sensor foram fixados na tampa da caixa de isopor com cola de silicone. O termômetro padrão (Certificado de calibração fornecido pela Calibratec¹, 1996), possui escala interna de vidro opalino, capilar, refletor prata de mercúrio, faixa nominal de $-10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, leitura $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, comprimento 470 mm e diâmetro de $8,5\text{ mm}$, marca Incoterm.

O sensor de temperatura a ser calibrado foi fixado com uma fita plástica ao termômetro de mercúrio, e para imersão do sensor de temperatura em água

¹ Comércio e assistência técnica de instrumentos de medição Ltda. – CALIBRATEC (1996)

necessitou-se desenvolver um processo de isolamento na sua fiação para evitar que a condução de corrente elétrica pela água interferisse no sinal elétrico gerado pelo sensor.

Este processo de isolamento foi feito inicialmente com cola de silicone e na busca por novas opções utilizou-se, primeiramente, um pequeno saco plástico, verniz (isolante elétrico) e em seguida, uma bexiga de borracha (segunda calibração).

A calibração foi iniciada à temperatura de 0 °C colocando-se água e gelo picado no interior da caixa de isopor fechada e homogeneizando-se a mistura. A partir dessa temperatura forneceu-se ao resistor (resistência elétrica), uma potência aparente constante de 74,25 VA, (Potência = Amperes x Volts) provocando uma elevação da temperatura que permitiu a coleta de pares de dados do sensor e do termômetro padrão de grau em grau, até a temperatura de 50 °C.

A Figura 8 mostra a montagem elétrica para o controle da potência do resistor de aquecimento da água.

A equação de calibração foi determinada por meio de regressões entre o sinal gerado pelo sensor de temperatura e a leitura do termômetro de mercúrio (termômetro padrão).

Foram realizados dois ensaios de calibração e determinaram-se duas regressões para cada calibração. Uma regressão foi obtida utilizando-se os recursos da planilha eletrônica “EXCEL 7.0” e a outra utilizando o “software” Table Curve 2D. Dentre as duas equações, a que apresentou o melhor coeficiente de correlação foi incluída no programa de aquisição de dados, calibrando-se assim o sensor.

3.2.2 Calibração do sensor de umidade relativa

Para a calibração do sensor de umidade relativa do ar foram realizados ensaios em ambientes naturais e artificiais, para se obter uma faixa adequada de valores de umidade relativa.

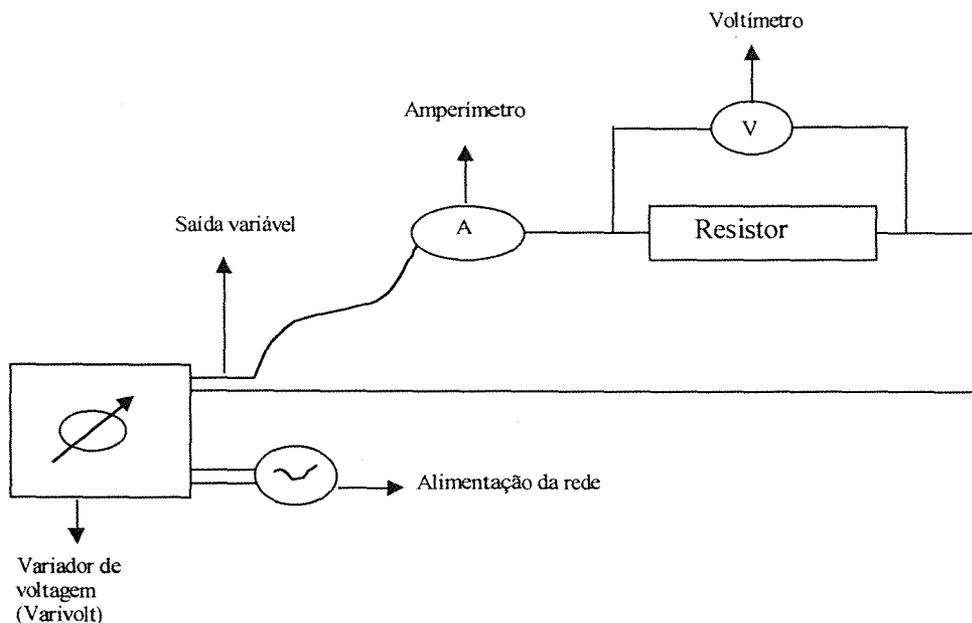


Figura 8 - Esquema de montagem elétrica para controle do resistor de aquecimento.

3.2.2.1 Primeira tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa

Na primeira tentativa de calibração do sensor de umidade relativa utilizou-se o psicrômetro ventilado (R. Fuess – Berlin – Stegutz B2739), e o termohigrógrafo (Wilh. Lambrecht GmbH D – 3400 Göttingen) como padrões (Figura 9).

Foram feitas medidas ambientes, no interior do laboratório, de hora em hora durante um período de 24 horas com o objetivo de comparar os dados de umidade fornecidos pelos instrumentos, estando o sensor a ser calibrado junto ao psicrômetro ventilado e ao termohigrógrafo.

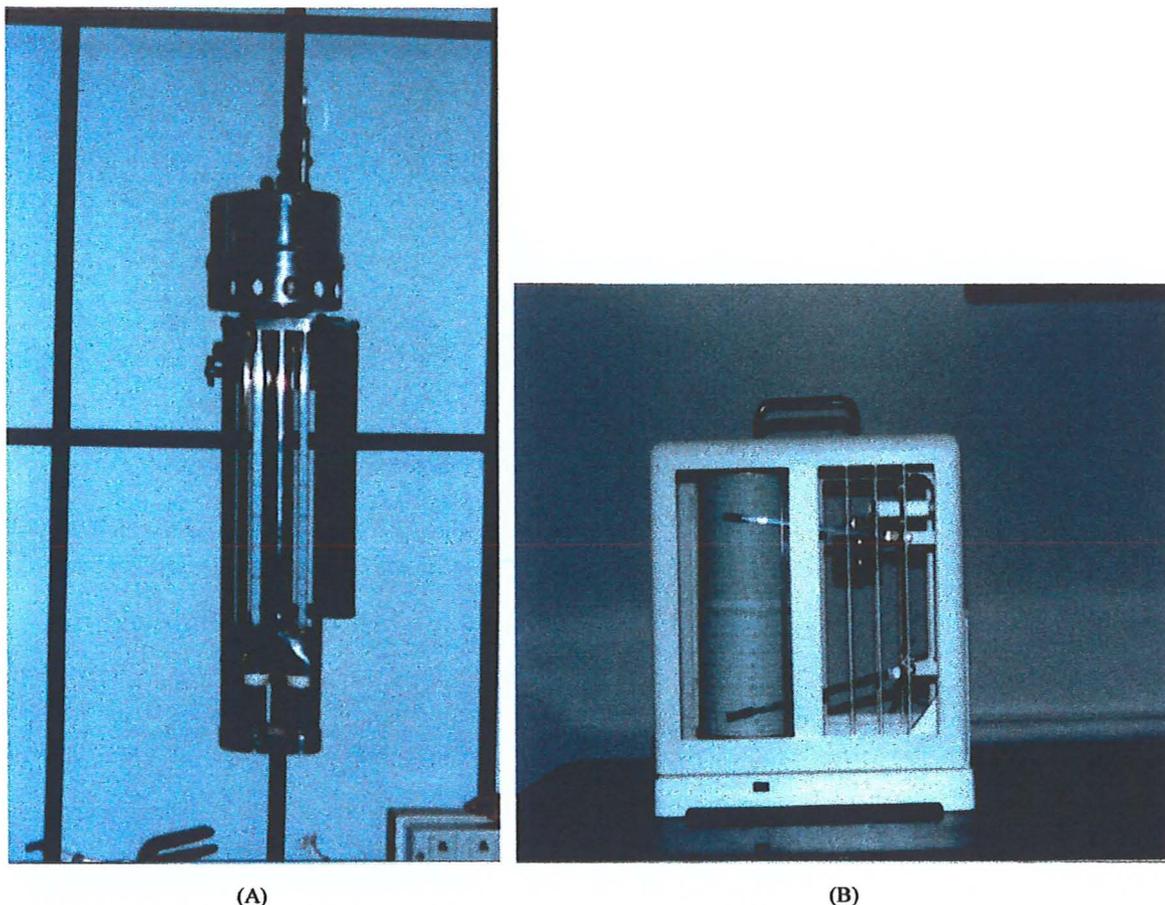


Figura 9 - Psicrômetro ventilado (A) e termohigrógrafo (B).

Foram feitas duas regressões sendo a primeira entre os pares de dados obtidos pelo psicrômetro ventilado e o sinal fornecido pelo sensor de umidade relativa e a segunda entre os pares de dados obtidos pelo termohigrógrafo e o sensor de umidade relativa.

3.2.2.2 Segunda tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa

Na segunda tentativa de calibração do sensor de umidade relativa utilizou-se o psicrômetro ventilado, o termohigrógrafo e o psicrômetro não ventilado, confeccionado no Departamento de Agrometeorologia da ESALQ/USP, composto por

dois termômetros da marca Incoterm, escala de -10 a $+50$ °C precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$, (Figura 10). Foram feitas leituras no ambiente externo ao laboratório e os dados foram coletados pelo mesmo procedimento da primeira tentativa de calibração.

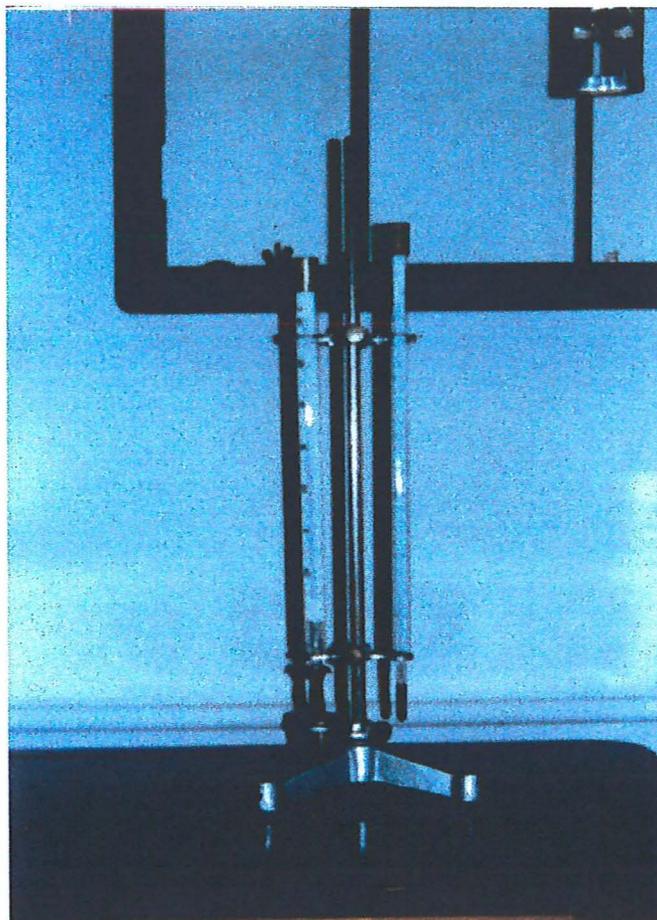


Figura 10 - Psicrômetro não ventilado.

3.2.2.3 Terceira tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa

Na terceira tentativa o sensor a ser calibrado foi colocado em cinco ambientes com umidades geradas artificialmente (Tabela 4), afim de se obter uma seqüência de valores de umidade relativa para a calibração.

Tabela 4 – Tipos de ambientes artificiais utilizados na calibração do sensor de umidade relativa.

<i>Ambientes</i>	<i>Tipos de ambientes utilizados</i>
1	Ambiente saturado
2	Ambiente utilizando sílica-gel
3	Ambiente utilizando Cloreto de sódio
4	Ambiente utilizando Dicromato dihidratado de sódio
5	Ambiente utilizando Cloreto hexahidratado de magnésio

A calibração do sensor de umidade relativa, da Philips Components, foi realizada em três etapas de simulação desenvolvidas em laboratório, conforme os ambientes artificiais foram sendo criados. Na primeira, utilizou-se duas caixas plásticas perfuradas e posicionadas uma em frente à outra, e um psicrômetro não ventilado, considerado como padrão, colocado em seu interior, juntamente com o sensor a ser calibrado presos um ao outro por uma fita plástica (Figura. 11A e 11B). Em seguida cobriram-se as caixas por um tecido embebido em água destilada, simulando-se assim um ambiente saturado (Figura 11C).

Após aguardar um tempo de cerca de 40 minutos, deu-se início as leituras dos pares de dados, que eram relativas às leituras de temperatura do bulbo seco e bulbo úmido e ao mesmo tempo do sinal do sensor de umidade relativa. As medidas foram feitas a cada hora durante um período de 7 horas, mantendo-se sempre o tecido umedecido com água destilada, para assegurar que o ambiente encontrava-se constantemente saturado e portanto em qualquer momento os sensores estavam em equilíbrio com o ambiente. De hora em hora abriam-se as caixas e liam-se os instrumentos, fechando-se o sistema novamente.

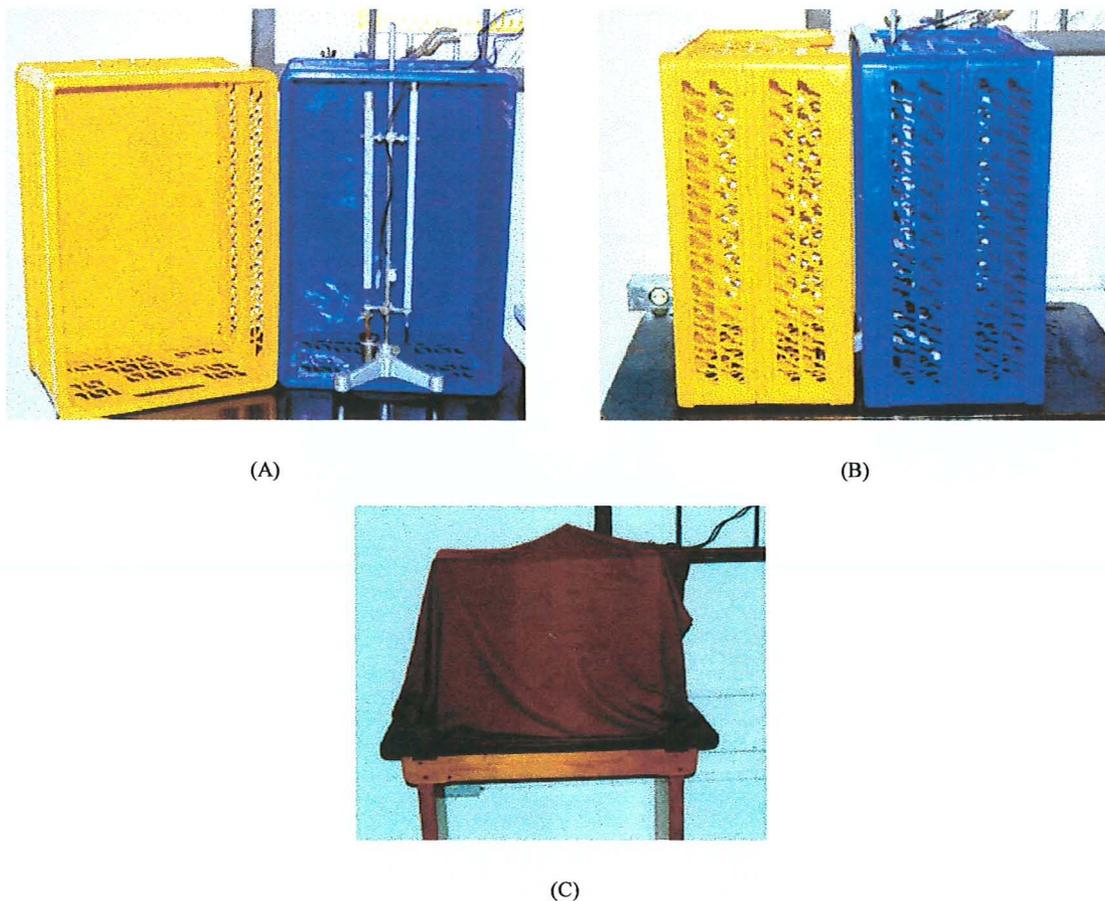


Figura 11 - Disposição dos instrumentos dentro da caixa plástica (A), caixas plásticas perfuradas já fechadas (B) e tecido embebido em água destilada cobrindo as caixas plásticas perfuradas (C).

Na segunda etapa utilizou-se um dessecador sem tampa contendo sílica gel em seu fundo. O sensor de umidade a ser calibrado e o psicrômetro não ventilado foram dispostos no interior do dessecador sobre uma grade de louça, situada acima da sílica gel. O dessecador contendo o psicrômetro e o sensor foi coberto por um plástico transparente de modo a isolá-lo do ambiente externo, isto é, o saco plástico fixado por fita adesiva atuava como tampa do dessecador e permitia a leitura dos instrumentos sem sua remoção. Para dar início às leituras aguardou-se uma hora.

Após esse período iniciaram-se as leituras de hora em hora até se obter a estabilidade do ambiente. O ambiente estabilizou-se no menor valor de umidade relativa conseguido pelo sílica gel.

Para melhorar a curva de calibração foram gerados mais três pontos intermediários e para tal utilizou-se três tipos de sais: cloreto de sódio, dicromato dihidratado de sódio e o cloreto hexahidratado de magnésio (Tabela 5), de modo a condicionar a cada sal uma respectiva umidade, quando mantido em um ambiente fechado e saturado, em uma dada temperatura.

Tabela 5 – Sais utilizados na calibração do sensor de umidade relativa com suas respectivas temperaturas e umidade relativa.

<i>Tipos de sais utilizados</i>	<i>Temperatura °C</i>	<i>UR%</i>
Cloreto de sódio	25	75.1
Dicromato dihidratado de sódio	15	53.7
Cloreto hexahidratado de magnésio	15	32,7

Para a calibração do sensor de umidade utilizou-se um pequeno vidro transparente, cuja tampa, serviu de suporte para o sensor de umidade relativa a ser calibrado e para o termômetro de mercúrio.

Seguiu-se então a metodologia proposta por Young (1967), que se baseia em colocar uma determinada quantidade de água destilada no interior de um frasco e em seguida o sal, de maneira a saturar a solução. Essas umidades padrões e os sinais elétricos gerados pelo sensor de umidade permitiram a sua calibração e portanto completou-se a programação do BSII.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O esquema eletrônico do sistema de aquisição de dados contendo o "BASIC STAMPII", os sensores de temperatura e umidade relativa do ar, e os demais componentes eletrônicos são mostrados na Figura 12.

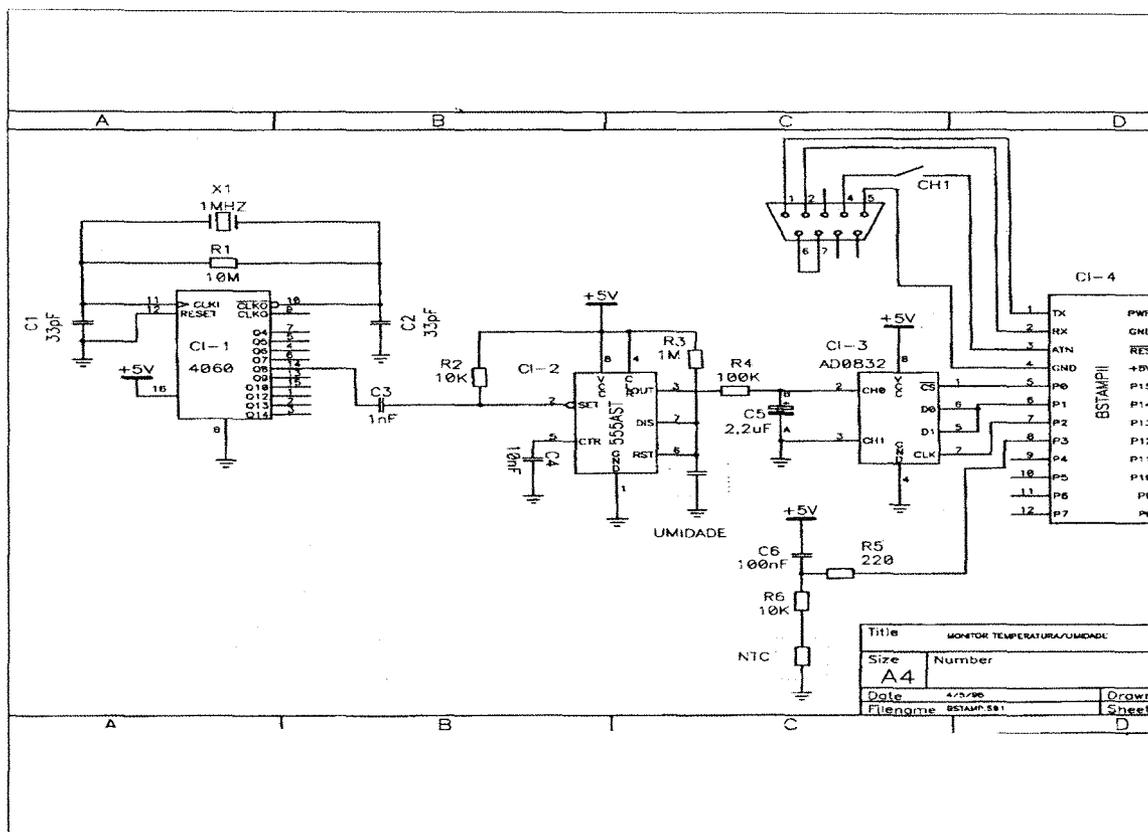


Figura 12 - Esquema eletrônico do sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar.

A Figura 13 mostra o resultado da montagem e acondicionamento do BSII numa caixa de baquelite preta com dimensões de 6,7 cm de largura e 8,5 cm de comprimento e 3,8 cm de espessura e os sensores conectados via cabo coaxial.

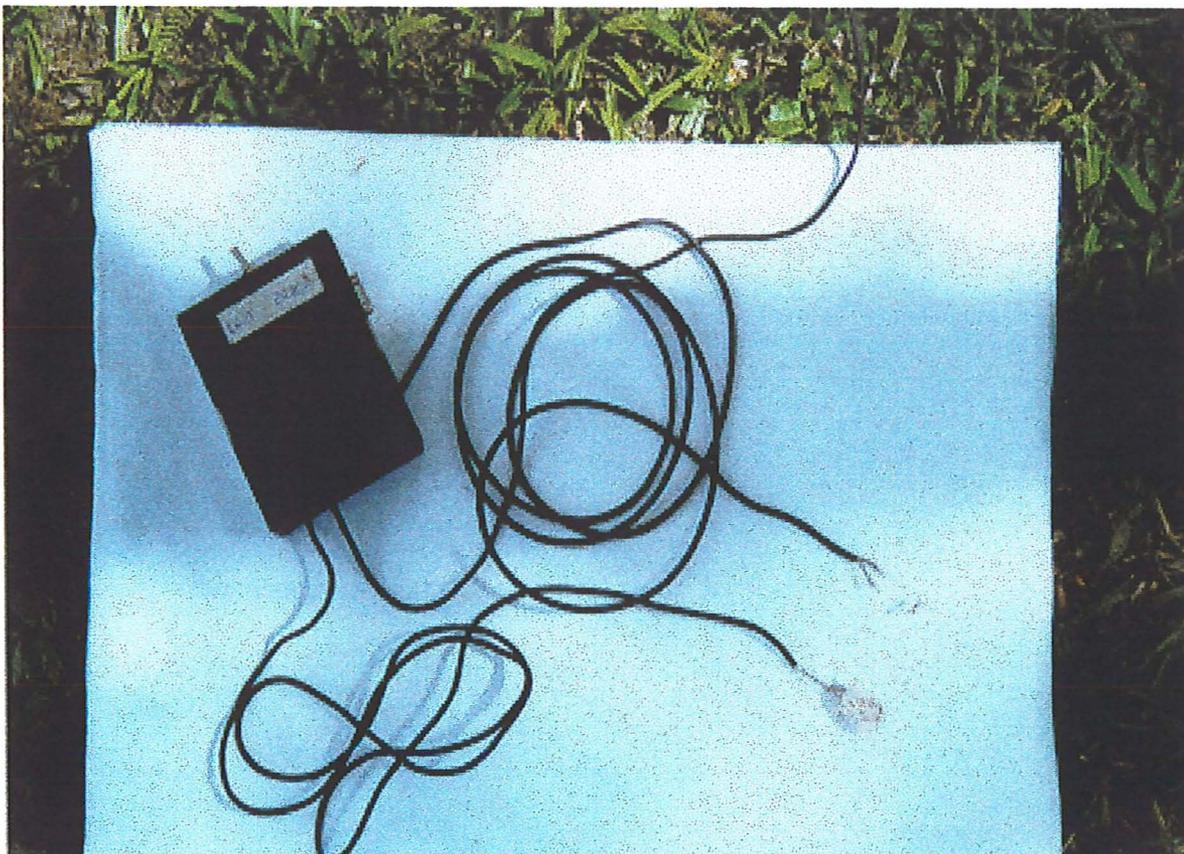


Figura 13 - Sensores de temperatura e umidade relativa conectados ao BSII embutido na caixa de baquelite preta.

No seu interior está o “carrier board” do BASIC StampII já com os sensores de temperatura e umidade relativa conectados por ligações diferenciais e preparado para ser ligado ao computador a fim de começar a ler e armazenar os dados.

O BASIC StampII pode ser definido em relação ao número de canais, como um sistema menor, no caso de possuir 7 canais, quando conectados de forma diferencial ou como maior, com 16 canais, quando conectados ao terra comum, de acordo com a literatura de Dias (1998).

4.1 Resultados da calibração do sensor de temperatura do ar

4.1.1 Resultado da primeira etapa para a calibração do sensor de temperatura

Os resultados da primeira tentativa de calibração do sensor não foram viáveis devido à heterogeneidade da temperatura da água dentro do recipiente fazendo com que os dados obtidos pelo termômetro não fossem confiáveis pois cada ponto da água dentro do vasilhame fornecia um resultado diferente, praticamente no mesmo instante.

Outro problema foi devido à rapidez da variação da temperatura da água dentro do vasilhame, uma vez que o recipiente em questão não permitia que a água entrasse em equilíbrio, a não ser em espaços de tempo muito curtos que não permitiam a leitura do termômetro padrão.

4.1.2 Resultado da segunda etapa para a calibração do sensor de temperatura

Como não foi bem sucedida a primeira etapa de calibração do sensor, devido à heterogeneidade da temperatura da água dentro do recipiente de alumínio, nesta etapa utilizou-se uma caixa de isopor aberta e um agitador com altura determinada afim de manter a homogeneidade da água e consequentemente dos dados fornecidos pelo termômetro num dado instante. Começou-se então a medir os valores a uma temperatura de 0 °C variando naturalmente com o ambiente.

Mesmo mudando o recipiente para um outro de maior isolação térmica e utilizando-se um misturador, não foi suficiente para homogeneizar a água, pois o líquido ainda mantinha contato com o meio externo. Observou-se que para manter o controle do equilíbrio do líquido com segurança no interior do recipiente era preciso fechá-lo completamente e utilizar uma resistência elétrica (aquecedor), de modo a manipular a temperatura.

4.1.3 Resultado da terceira etapa para a calibração do sensor de temperatura

Devido às dificuldades encontradas nas etapas anteriores em conservar a temperatura da água no interior do recipiente de isopor por um determinado instante, afim de levá-la ao equilíbrio, na terceira etapa foi confeccionado um “banho-maria” de modo a permitir que os dados fornecidos pelo termômetro se mantivessem constantes durante intervalos adequados de tempo e para melhor controle da temperatura do líquido adicionou-se uma resistência elétrica .

A confecção do “banho-maria”, ao invés da utilização de um banho termostaticado a óleo, conforme Gruber (1992), foi necessária para obtenção de dados a um custo razoável, bem como os processos dela decorrentes como por exemplo a própria calibração.

As dificuldades encontradas foram devidas à utilização de um resistor de aquecimento não blindado (aquecedor) que em contato direto com o gelo e a água provocou a ocorrência de correntes de fuga (condução elétrica) interferindo assim no termistor fazendo com que o mesmo ficasse descontrolado, emitindo dados incorretos pois não possuía isolação da fiação.

Essas dificuldades foram solucionadas com o envolvimento do sensor e fiação por uma bexiga, mas projetos futuros podem ser realizados com resistor blindado (do tipo utilizado em aquários ornamentais). Após a isolação, a estabilidade eletrônica do sistema foi restituída o que possibilitou dar seguimento à etapa de calibração do sensor de temperatura.

A Figura 14 apresenta a montagem final do sistema utilizado na calibração, mostrando a caixa de isopor utilizada no “banho-maria” contendo o termistor do tipo conta com cobertura de vidro (Ismail, 1998), o microcomputador de apoio, o termômetro padrão, os variadores de voltagem para ajustes do resistor de aquecimento e variação da rotação do misturador pela furadeira elétrica e três multímetros digitais utilizados no monitoramento da intensidade da corrente, tensão do resistor e da tensão na furadeira.

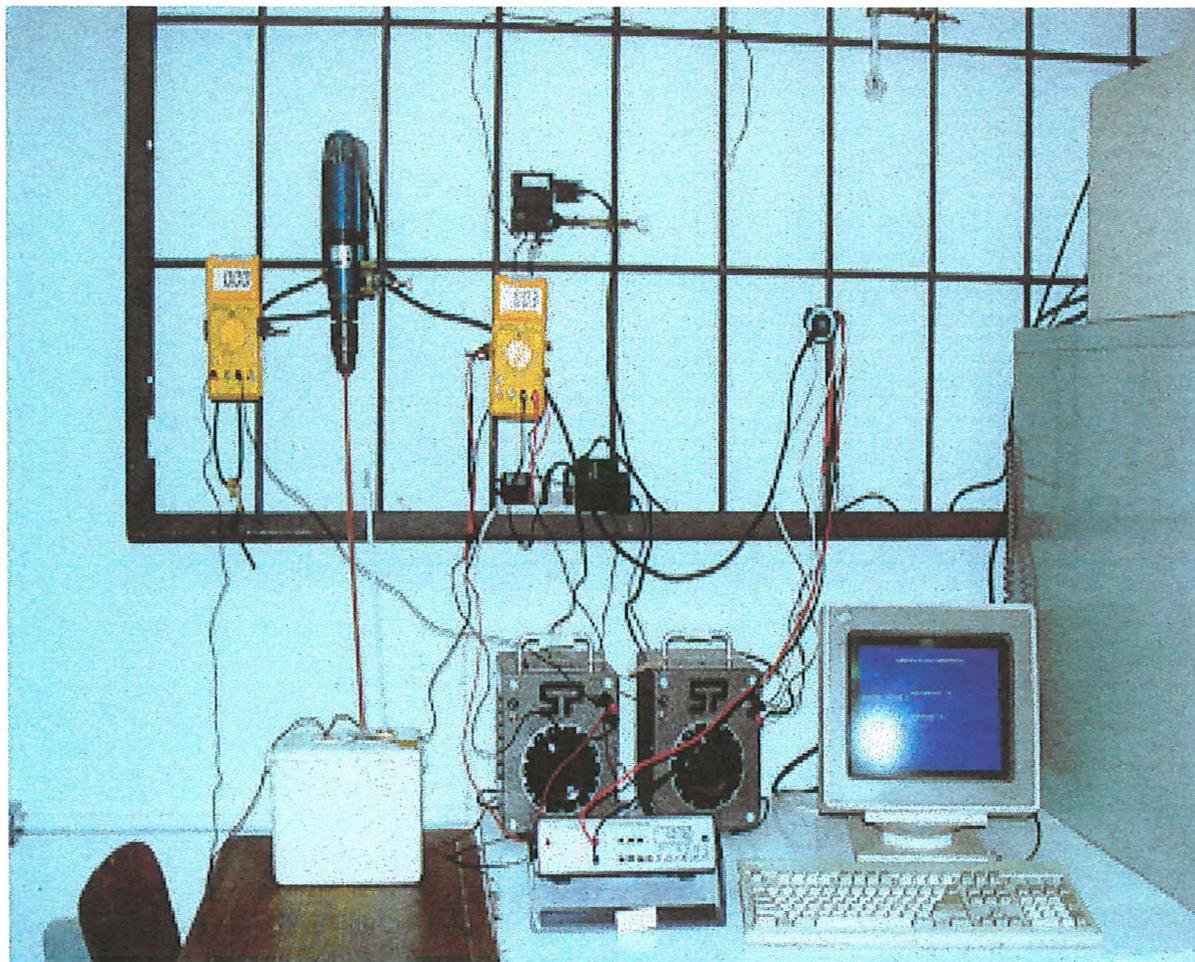


Figura 14 - Visão geral do sistema utilizado na calibração do sensor de temperatura.

Foram obtidas, após os procedimentos de elevação da temperatura, duas equações de regressão para cada um dos dois ensaios de calibração, sendo que a equação que apresentou melhor coeficiente de correlação foi incluída no programa de aquisição de dados.

A Figura 15 realça duas características dos termistores, seu comportamento não linear (Ismail, 1998) e o fato de variar inversamente com a temperatura, isto é, quando esta aumenta o sinal gerado pelo sensor diminui e vice-versa, daí o fato do termistor na Figura 12 ser indicado pela sigla “NTC” que significa “Negative Temperature Coefficient”.

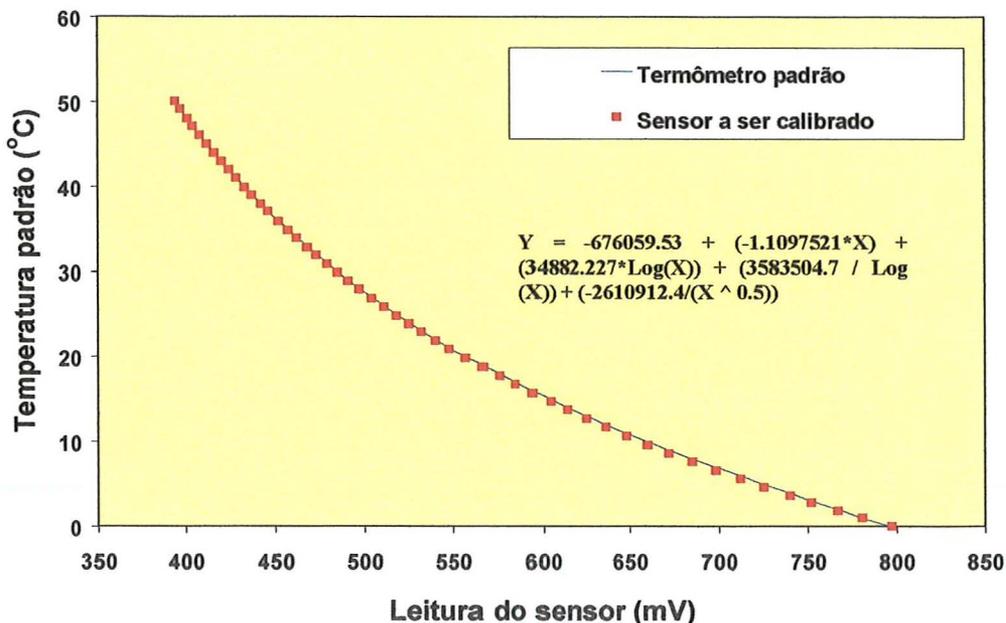


Figura 15 - Curva de regressão relacionando os dados de temperatura, em °C, do termômetro padrão e as respectivas leituras do BSII (mV).

Embora reconhecendo que o coeficiente de determinação (R^2) de Pearson seja adequado para regressões lineares, Levin (1987), o mesmo foi utilizado como um dos critérios para comparação dos dados de temperatura obtidos pelo termômetro padrão com os fornecidos pelo termistor, obtendo-se um valor de $R^2 = 0,9999$, sendo o outro critério visual.

A equação obtida pela regressão foi incluída no programa para a obtenção da temperatura em °C sendo apresentada em destaque na Figura 16, a qual mostra também a simplicidade da etapa de programação. Após a calibração, o sistema de aquisição de dados entrou em operação normal para o monitoramento da temperatura ambiente.

De acordo com Percy (1989), o sistema de aquisição de dados depende da memória e do sistema de armazenamento do computador de apoio sendo que o BASIC StampII tem uma memória EEPROM de 256 bytes onde cada função ocupa de 2

a 3 bytes resultando em um programa de no máximo 80 a 100 instruções. O interpretador executa aproximadamente 2.000 instruções por segundo.

```

Open "COM1:9600,N,8,1,CD0,CS0,DS0,OP0,RS" For Input As #1
COLOR 7, 1
Cls
Print
COLOR 14, 1
LOCATE 3, 20
Print " LABORATORIO DE FÍSICA E AGROMETEOROLOGIA "
AGAIN:
    LOCATE 10, 29
    Letras$ = Input$(3, #1)
    Print "VALOR TEMPERATURA = "; Val(letras$)
    Rem Equação de temperatura estimada na regressão
    T = -676059.53 + (-1.1097521 * (Val(Letra$)) + (34882.227 * Log(Val(letras$))) +
    (3583504.7 / (Log(Val(letras$)))) + (-2610912.4 / (Val(letras$) ^ 0.5)))
    Print "TEMPERATURA = "; T; " oC"
    LOCATE 15, 29
    letras$ = Input$(3, #1)
    Print "VALOR UMIDADE ="; Val(letras$)
    U = 1149.2 * Log(Val(letras$)) - 5967.2
    Print "UMIDADE   ="; U; " %"
GoTo AGAIN

```

Figura 16 - Programa para obtenção da temperatura e umidade relativa onde a equação referente à temperatura já é resultante da calibração.

O BASIC StampII precisa da memória de um microcomputador para armazenar as leituras, pois sua memória “RAM” é de apenas 50 bytes e então o número de dados armazenados vai depender da capacidade da memória do computador utilizado. O tempo ajustado para amostragem e armazenamento dos dados foi de 60 segundos, após esse intervalo eles foram descarregados em uma planilha eletrônica do “Excel 7.0”, permitindo a manipulação dos dados segundo as necessidades do operador ou ao invés de utilizar os recursos disponíveis no “Excel 7.0” pode-se consultar a temperatura máxima, mínima, média e inclusive o horário em que ocorreram, utilizando-se os próprios recursos do programa.

4.2 Resultados da calibração do sensor de umidade relativa do ar

4.2.1 Resultado da primeira tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa

Os resultados obtidos no ambiente natural interno do laboratório mostraram uma fraca correlação com R^2 igual a 0,4672 (Figura 17), obtida com os dados do psicrômetro ventilado e o sinal elétrico do sensor capacitivo. Este fato pode estar associado a duas causas simultâneas ou não: os diferentes tempos de resposta dos instrumentos, fazendo com que cada um fornecesse valores de umidade distintos por não estarem simultaneamente em equilíbrio e a interferência devido a aproximação do operador e sua permanência junto aos instrumentos por alguns minutos, para acionar o mecanismo de ventilação e efetuar as leituras das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido. O operador pode também ter interferido na umidade relativa do ambiente, causando com mais intensidade as diferenças de medidas entre o sensor a ser calibrado e o psicrômetro ventilado, pelo fato do sensor possuir um tempo de resposta menor quando comparado ao psicrômetro ventilado. No entanto a segunda regressão (Figura 18) que utilizou o termohigrógrafo apresentou uma forte correlação R^2 igual a 0,8268, devido ao fato desse instrumento registrar a umidade do ar continuamente, talvez não sendo tão afetado por interferências na umidade ambiente.

4.2.2. Resultado da segunda tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa

A segunda tentativa de comparar os instrumentos de medida de umidade relativa do ar com o sinal gerado pelo sensor capacitivo, foi realizada num ambiente externo ao laboratório, utilizando-se também o psicrômetro não ventilado de leitura instantânea de maneira a não interferir na umidade do ambiente e conseqüentemente não alterar os resultados do sensor capacitivo.

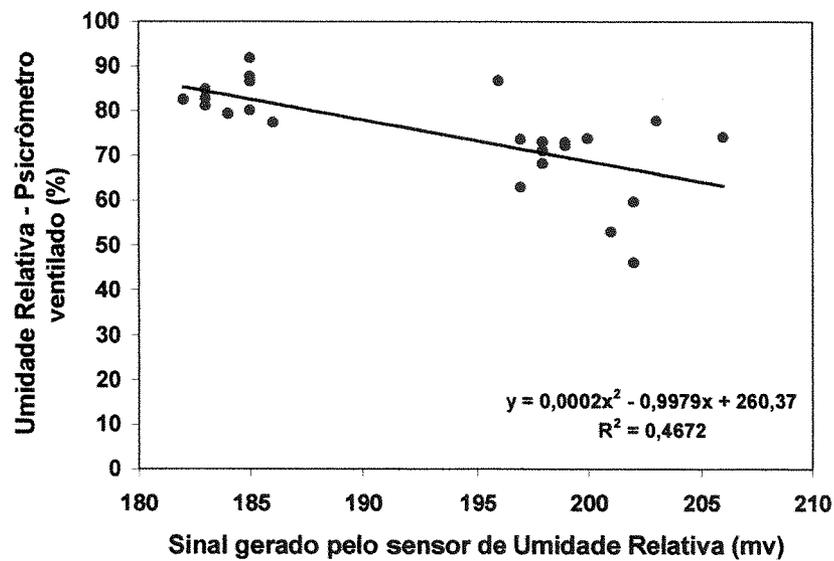


Figura 17 - Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com os dados do psicrômetro ventilado e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no interior do laboratório.

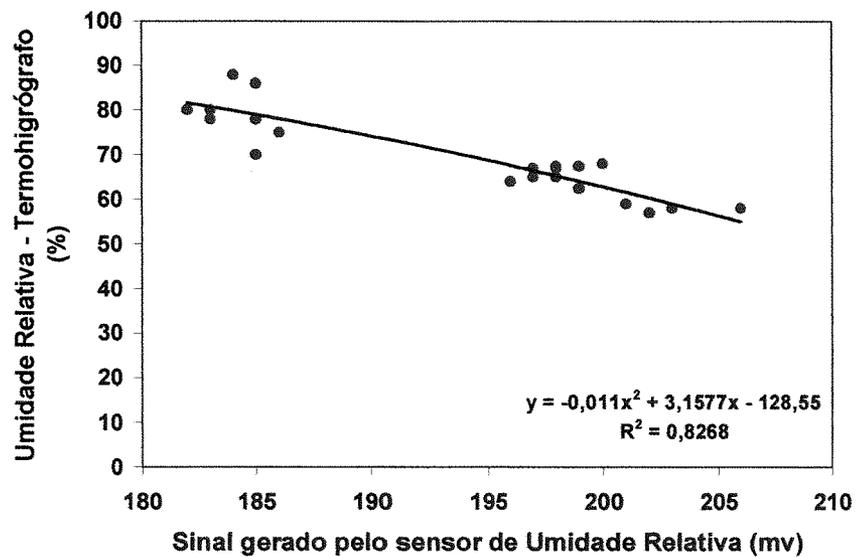


Figura 18 - Correlação entre os dados da umidade relativa fornecida pelo termohigrógrafo e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no interior do laboratório.

Observou-se que os resultados das correlações de cada instrumento com o sinal elétrico do sensor não indicam correlações fortes (Figuras 19, 20 e 21).

De acordo com Braga (1996), o sensor necessita de pelo menos 10 minutos para entrar em equilíbrio com a umidade relativa em um dado ambiente. Para isso seria necessário um lugar onde a umidade se mantivesse constante por no mínimo 10 minutos, para então obter-se com certeza o valor correto.

Como nessa segunda tentativa de calibração o sensor e os equipamentos estavam dispostos num local onde a umidade variava muito, numa faixa de 40 a 90%, não foi possível obter boas correlações, pois os diferentes tempos de resposta de cada instrumento padrão não permitiam acompanhar as variações rápidas do vapor d'água em um mesmo instante, ao contrário do sensor. De acordo com Percy et al. (1989) quando a faixa de vapor d'água na atmosfera variar de 0 a 75% o tempo de resposta do sensor é muito curto em torno de milésimos de segundos, e torna-se mais lento com a redução da umidade relativa.

4.2.3 Resultado da terceira tentativa para a calibração do sensor de umidade relativa

A fraca correlação entre os dados dos instrumentos (psicrômetro ventilado, psicrômetro não ventilado e termohigrógrafo) utilizados para medir a umidade relativa do ar com os resultados do sensor capacitivo, foi em função da rápida variação da umidade ambiental, o que indica um atraso nos dados emitidos pelos equipamentos, ao passo que o sensor os fornecia instantaneamente. Essa foi a principal causa de diferença entre os valores obtidos pelos três instrumentos e o sensor, pois cada um determinava a umidade de acordo com seu tempo de resposta.

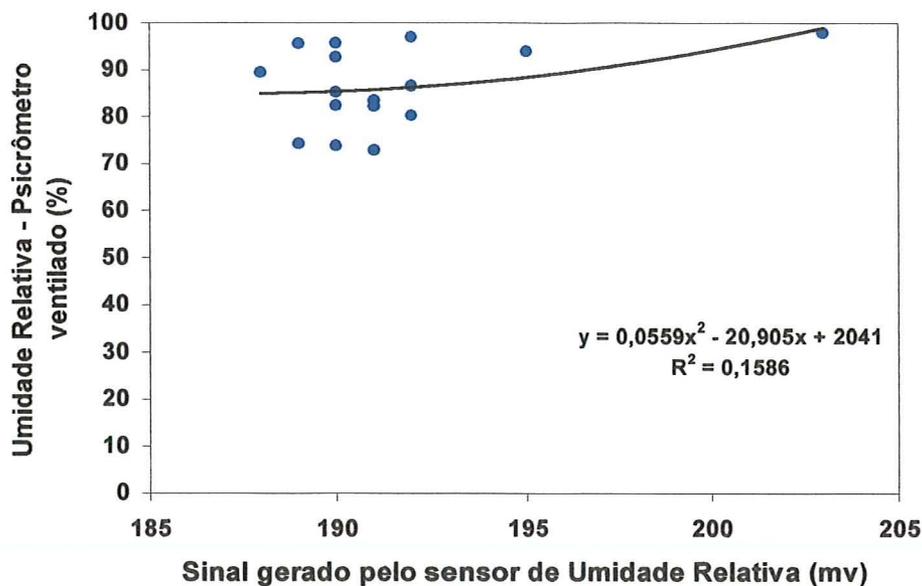


Figura 19 - Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com os dados do psicrômetro ventilado e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no exterior do laboratório.

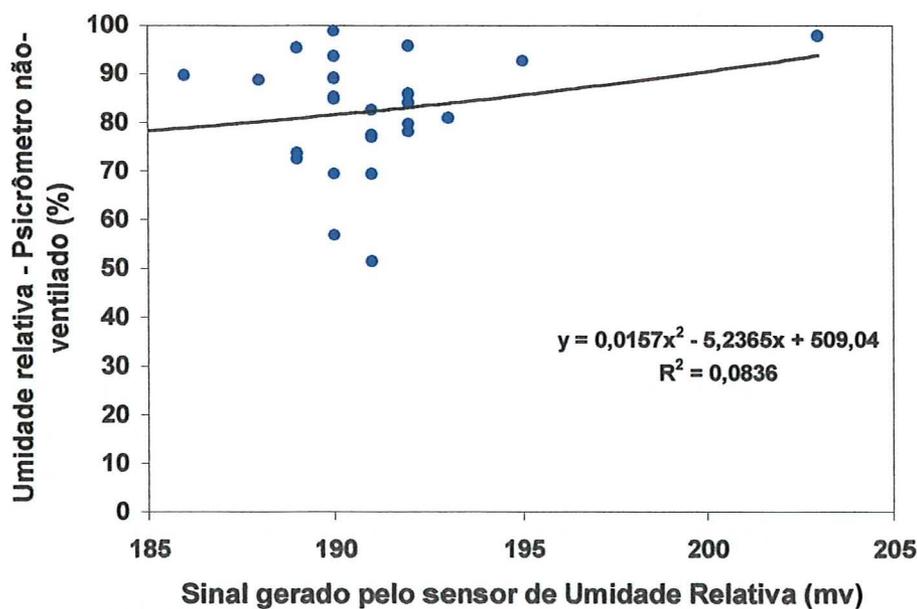


Figura 20 - Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com o psicrômetro não ventilado e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no exterior do laboratório.

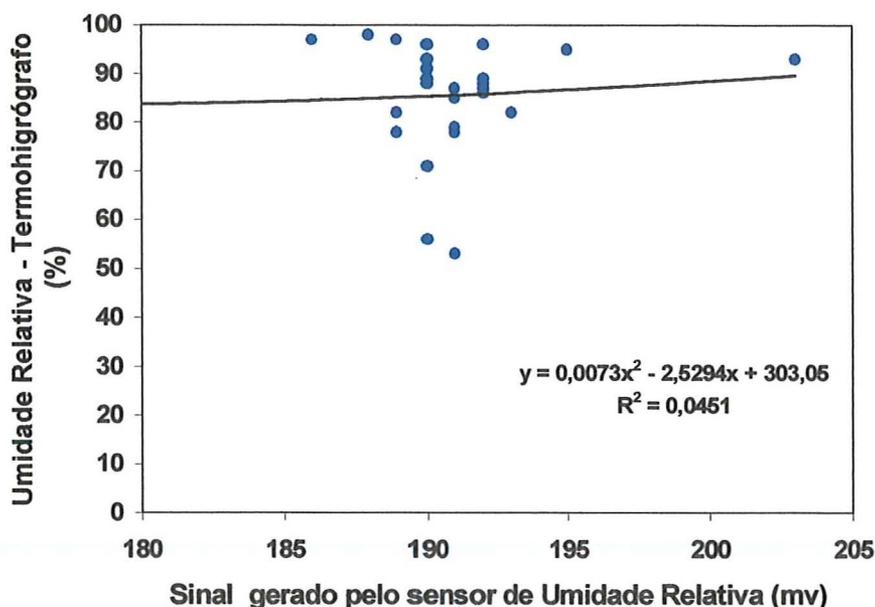


Figura 21 - Correlação entre os dados da umidade relativa obtida com o termohigrógrafo e o sinal gerado pelo sensor de umidade relativa no interior do laboratório.

Sabendo-se que o psicrômetro pode ser utilizado como instrumento de referência para a medição da umidade do ar e que a precisão dos valores de vapor d'água obtidos pelo mesmo vai depender da precisão dos termômetros utilizados, Percy et al. (1989), observou que o psicrômetro não ventilado citado na segunda tentativa de calibração, possui uma ótima precisão de 0,2 % , por este motivo foi então escolhido como padrão único para participar da terceira etapa de calibração. Devido os termômetros de bulbo seco e bulbo úmido do psicrômetro ventilado apresentarem uma menor precisão de 0,5 % e também ao fato da necessidade da proximidade do operador para o seu funcionamento, o que de certa forma influenciaria na umidade do ambiente, o mesmo não foi o escolhido.

Para se obter um ambiente com a umidade constante e um conjunto suficiente de valores para fornecer a curva de calibração, foram simulados microclimas, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Tipos de ambientes utilizados, valores de umidade relativa e sinais gerados pelo sensor.

<i>Tipos de ambientes utilizados</i>	<i>Umidade relativa (%)</i>	<i>Sinais do sensor</i>
Ambiente saturado	100%	203
Cloreto de sódio	72	194
Ambiente utilizando sílica-gel	60,18	192
Ambiente utilizando sílica-gel	57,83	191
Dicromato dihidratado de sódio	53,7	189
Cloreto hexahidratado de magnésio	32,7	184

Com a simulação dos microclimas obtiveram-se as umidades mais precisas devido a constância da umidade de cada ambiente. Foi obtida, portanto, uma equação de regressão para este ensaio de calibração, que apresentou ótimo coeficiente de determinação (Figura 22) sendo incluída no programa de aquisição de dados.

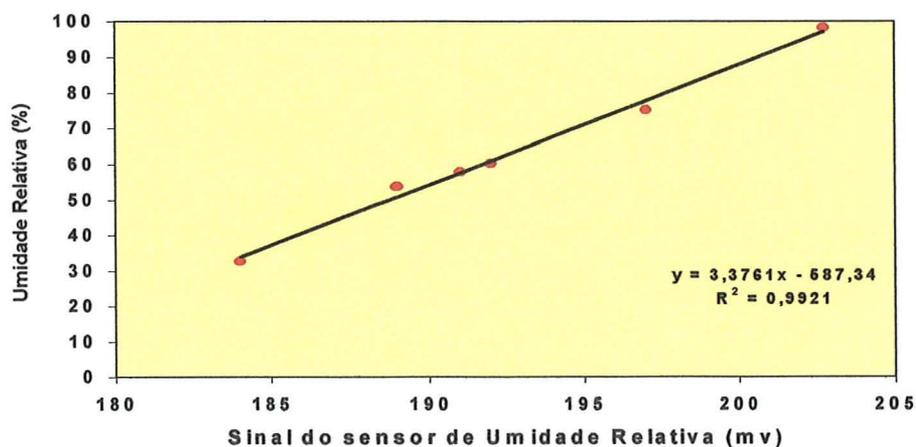


Figura 22 - Curva de regressão relacionando os dados de umidade relativa em % e do psicrômetro padrão e respectivas leituras do BSII (mV).

Na literatura, Percy et al. (1989), cita que os capacitores são bastante sensíveis apresentando variação linear da capacitância elétrica com a umidade relativa entre 0 a 75%, sendo que na terceira etapa de calibração, o sensor capacitivo em relação os valores de vapor d'água apresentou também variação linear entre 35 a 100%. O coeficiente de determinação correspondente foi de 0,9921 e a equação já incluída no programa para a obtenção da temperatura e umidade relativa, em °C, é apresentada em destaque na Figura 23.

```

Open "COM1:9600,N,8,1,CD0,CS0,DS0,OP0,RS" For Input As #1
COLOR 7, 1
Cls
Print
COLOR 14, 1
LOCATE 3, 20
Print " LABORATORIO DE FÍSICA E AGROMETEOROLOGIA "
AGAIN:
  LOCATE 10, 29
  letras$ = Input$(3, #1)
  Print "VALOR TEMPERATURA = "; Val(letras$)
  Rem Equação estimada na regressão
  T = -676059.53 + (-1.1097521 * (Val(Letra$))) + (34882.227 * Log(Val(letras$))) +
(3583504.7 / (Log(Val(letras$)))) + (-2610912.4 / (Val(letras$) ^ 0.5)))
  Print "TEMPERATURA = "; T; " oC"
  LOCATE 15, 29
  letras$ = Input$(3, #1)
  Print "VALOR UMIDADE ="; Val(letras$)
  Rem Equação de umidade relativa estimada na regressão
  U = (0.0033 * (Val(letras$)^2)) + (2.0827 * (Val(letras$))) - 462.24
  Print "UMIDADE ="; U; "%"
GoTo AGAIN

```

Figura 23 - Programa para a obtenção de temperatura e umidade relativa onde a equação referente à umidade relativa já é resultante da calibração.

Após a calibração, o sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa entrou em funcionamento.

O tempo ajustado para amostragem e armazenamento de dados foi de 60 segundos e os dados de temperatura e umidade relativa foram descarregados em uma planilha eletrônica “Excel 7.0”, permitindo a manipulação dos mesmos de acordo com as necessidades do operador.

Há que se destacar ainda que durante a execução deste projeto foi disponibilizada uma página na INTERNET referente à utilização do “Basic Stamp” em estações meteorológicas. O endereço de acesso www.oonline.com/~tparnell/index.html (Jackson, 1998).

Finalizando, há que se considerar pelo menos mais três possibilidades de pesquisa utilizando o BASIC STAMP II:

- 1 - Utilização de termopares para a confecção de sensores de umidade relativa do tipo psicrômetro, com acionamento automático da ventoinha e também termopar para a medida da temperatura;
- 2 - Desenvolvimento de mini-abrigo para utilização dos sensores e BASIC STAMPII no campo;
- 3 - Acoplamento de painel fotovoltaico para a utilização de baterias recarregáveis.

5 CONCLUSÃO

A utilização do “BASIC STAMP (R)” na confecção de um sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa mostrou-se totalmente viável, tanto pela facilidade de operação quanto pelo custo do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDES, L.H.C. Automação na avicultura. **Saber Eletrônica**, v.33, p.26-29, abr. 1997.
- BERNARDES, L.H.C. Mini-Curso BASIC Stamp. **Saber Eletrônica**, v.33, p.24-30, ago. 1997.
- BERNARDES, L.H.C. Basic stamp. **Saber eletrônica**. v.32, p.16-24, abr. 1996.
- BRAGA, N.C. Medidor de umidade relativa. **Saber Eletrônica**. v.32, p.41-44, dez. 1996.
- BOLTON, W. **Instrumentação e controle**. São Paulo: Hemus, 1988. cap.2, p.25-149: Transdutores.
- BLAIR, T. A.; FITE, R.C. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: USAID, 1964. cap.3, p.42-81: Observações da umidade, luz solar, visibilidade e condições em altitude.
- BERRY, F.A.; BOLLAY, E; BEERS, N.R. **Handbook of Meteorology (Meteorological instruments)**. New york: McGraw Hill Book, 1945, cap. 8, p.90-115.
- DALLY, J.W.; WILLIAM, F.R.; McCONNELL, K.G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 584p.
- DIAS, G.P. Automação e Instrumentação para Agricultura de Precisão. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. Poços de Caldas, 1998. **Mecanização e Agricultura de Precisão**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.231.
- DeFELICE, T.P. **An introduction to meteorological instrumentation and measurement**. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 229p.

- FIALHO, F.B.; Modernização no Controle da Produção de Suínos – Zootecnia de Precisão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA E QUALIDADE NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE SUÍNOS, Piracicaba, 1999. **Resumos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.61-80.
- FOLEGATTI, M. V. Avaliação do desempenho de um “scheduler” na detecção do estresse hídrico em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L) irrigada com diferentes lâminas. Piracicaba, 1988. 188p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GRUBER, J.; PARDINI, V.L.; VIERTLER, H.; Termômetro digital IV multicanal empregando LM35 como sensor de temperatura. **Saber Eletrônica**, v.32, n.312, p.8-11, 1999.
- ISMAIL, K.A.R.; GONÇALVES, M.M.; BENEVENUTO, F.J. **Instrumentação Básica para Engenharia**. Campinas: Do autor, 1998. cap.2, p.292-330: Termoeletricidade e termopares.
- JACKSON, R.M. **The weather stamp meteorological station**. tparnell@oeonline.com, (25 Nov. 1998).
- LE DIVICH, J.; REINALDO, D. Effes de l’environnement thermique sur les performance du porc en croissance. **Journées Rech. Porcine en France**, v.21, p.221-229, 1989.
- MIDDLETON, W.E. **Meteorological instruments**. Toronto: University of Toronto 1943, 120p.
- MCGEE, T. D. **Principles and methods of temperature measurements**. New York: Wiley, 1988. 581p.
- NÄÄS, I. A. Zootecnia de precisão: Aplicação na produção de Leite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO NA PRODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba, 1998. **Ambiência na Produção de Leite em Clima Quente**. Piracicaba, 1998. **Resumos**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.1-9.
- NOBLE, J.; LE DIVICH. Effect of environmental temperature and feeding level on energy balance traits of early-weaned piglets. **Livest production sciences**, v.9, 619-632, 1982.
- OMM. **Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices**. Geneva: Organização Meteorológica Mundial, 1971, 150p.

- PEARCY, R.W.; EHLERINGER, J.R.; MOONEY, H.A.; RUNDEL, P.W. **Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation.** London: British Library, 1989, 442p.
- LEVIN, J. **Estatística aplicada a ciências humanas.** São Paulo: Harbra, 1987. cap.11, p.276-316.
- ROSENBERG, N.J. **Microclimate: the biological environment.** New York: John Wiley, 1974.
- ROLLER, W.L.; STOMBAUGH, D.P. The influence of environmental factors on the reproduction of livestock. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT**, Atlanta, 1976. **Proceedings.** Atlanta: ASAE. 1976. v.1, p.31-50.
- SILVA, I.J. **Desenvolvimento de Modelos Matemáticos para Análise da Influência das Condições Ambientais na Produção de Ovos.** Campinas, 1998. 140p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras.** Botucatu: USP, 1986. 374p.
- YOUNG, J.F. Humidity and Control in the laboratory using salt solutions. **Journal of Applied Chemistry**, v.17, p.170, Sep. 1967.