MÁRCIO TAKESHI SUGAWARA

ESTUDO DE SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

MÁRCIO TAKESHI SUGAWARA

ESTUDO DE SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 29 de Agosto de 2003

Prof. PhD. Gilberto Chohaku Sediyama
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Aristides Ribeiro

Prof. Dr. Paulo José Hamakawa

Prof. Dr. Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, por sua grandeza humana, pelas oportunidades, pelos ensinamentos profissionais e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Meteorologia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café e ao Núcleo de Cafeicultura Irrigada (EMBRAPA-CAFÉ), pelo suporte financeiro e de recursos humanos.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão do projeto.

Aos professores e conselheiros Gilberto Chohaku Sediyama, Carlos Alberto Viliotti, Aristides Ribeiro, Paulo José Hamakawa pelas críticas construtivas, sugestões apresentadas e pela amizade.

Aos professores do DEA com quem trabalhei ao longo da graduação e pós graduação pelos ensinamentos.

À Daniela Mayumi Sakuraoka pelo companheirismo, dedicação, apoio e compreensão em todos os momentos.

Ao professor da Universidade de Ouro Preto (UFOP), Paulo Monteiro, Rogério, pelo apoio na realização do trabalho.

Aos amigos Guilherme Bastos Lyra, Gustavo Bastos Lyra, Márcio José Catalunha, Clayton Gomes Igarashi e Marcos Hihoshi Nishi.

Aos companheiros de trabalho do grupo CAFÉ, Gregório, Luiz Otávio, Cléia, Zinato, Vinícius, Sandro, Marconi, Adjalma, Darik, Fúlvio, Rafael, Alexandre, Bruno, Marcelo, Samir, Guilherme, Palaretti, Maurício, Karine, Hiran, Gustavo, Dalmácio, Adilson, Maíra e Marlos.

Aos companheiros da meteorologia agrícola e engenharia agrícola.

Aos funcionários da meteorologia agrícola e aos funcionários do DEA.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS v

RESUMO viii

ABSTRACT x

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DE LITERATURA 3

2.1. Sensores 6
2.2. Termistor 10
2.3. Sensor capacitivo 13
2.4. Transistor 2N3055 16
2.5. Sistema de aquisição de dados 19

3. MATERIAL E MÉTODOS 21

3.1. Sensor padrão 21
3.2. Sistema de aquisição de dados 23
3.3. Condicionamento do sinal 23
3.4. Sensor de Temperatura 25
3.5. Sensor de umidade relativa 26
3.6. Proteção dos sensores de temperatura e umidade relativa 28
3.7. Abrigo dos sensores de temperatura e umidade relativa 28
3.8. Sensor de radiação solar 34
3.9. Coleta de dados 35

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 36

4.1. Temperatura 36
4.2.Umidade relativa 40
4.3. Radiação solar 43
4.4. Custo final 47
4.4. Comparação dos sensores padrão e teste 49

5. RESUMO E CONCLUSÕES 50

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

APÊNDICE A 54

APÊNDICE B 57

APÊNDICE C 62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interface completa do condicionamento do sinal do sensor e do sistema de aquisição de dados 9

Figura 2 – Comportamento não-linear do termistor NTC na faixa de -50 a 350°C 11

Figura 3 – Ciclo do elétron do transistor 2N3055 da banda de valência para a banda de condução pela incidência da luz e o circuito divisor de tensão do transistor 2N3055 sob ação da intensidade luminosa 18

Figura 4 – Sistema de aquisição de dados completo, do sensor até o armazenamento de dados..... 20

Figura 5 – Termoigrômetro considerado padrão HUMITTER 50Y - VAISALA 22

Figura 6 – Piranômetro considerado padrão; Li-200SA, LiCor 23

Figura 7 – Sistema de aquisição de dados com comunicação direta com o microcomputador, utilizados para a coleta e armazenamento de dados com o algoritimo desenvolvido em linguagem “C”..... 23

Figura 8 – Esquema do circuito divisor de tensão utilizado para condicionar o sinal fornecido pelo NTC e 2N3055..... 24

Figura 9 – Termistor NTC de 10k , componente de dois terminais e com elemento sensível composto de óxidos..... 25

Figura 10 – Figura do sensor capacitivo de umidade relativa HIH-3610, componente com três terminais com elemento sensível composto de placas de platina e polímero 27

Figura 11 – Encapsulação do sensor de temperatura e umidade relativa, utilizando-se cilindro de teflon e cápsula porosa..... 28

Figura 12 – Diagrama com os componentes utilizados para confecção do abrigo de sensores de temperatura, umidade relativa e radiação solar30

Figura 13 – Dimensões em mm do disco de alumínio superior e intermediário e espaçadores de teflon 31

Figura 14 – Dimensões em mm da proteção dos sensores de temperatura e umidade relativa utilizando cilindro poroso, cilindro de teflon, corpo e porca fixadora 32

Figura 15 – Dimensões em mm do termistor NTC, higrômetro HIH-3610 e cilindro poroso 33

Figura 16 – Transistor 2N3055, sem a tampa de proteção expondo a junção PN à radiação 34

Figura 17 – Abrigo de sensores padrão e teste utilizado para a coleta dos dados de temperatura, umidade relativa e radiação solar em campo. . 35

Figura 18 – Calibração do termistor NTC, em que são plotadas a tensão elétrica proveniente do NTC e a temperatura-padrão, verificando-se a diminuição da resistência em relação ao aumento da temperatura 36

Figura 19 – Ajuste do sensor-teste em relação ao sensor-padrão com os valores de temperatura medido em abrigo de polietileno..... 37

Figura 20 – Ajuste do sensor-teste em relação ao sensor-padrão com os valores de temperatura estimado em abrigo de alumínio..... 38

Figura 21 – Tempo de resposta do termistor NTC no intervalo de temperatura de -6 a 19 °C..... 39

Figura 22 – Tempo de resposta do termistor NTC no intervalo de temperatura de 24 a 44 °C 40

Figura 23 – Tempo de resposta dos sensores-padrão e teste no intervalo de 15% a 80% de umidade relativa 41

Figura 24 – Calibração do sensor-teste de umidade relativa em relação ao sensor-padrão, utilizando-se o abrigo de alumínio 42

Figura 25 – Calibração do sensor-teste de umidade relativa em relação ao sensor-padrão, utilizando-se o abrigo de polietileno 43

Figura 26 – Calibração do transistor 2N3055 no intervalo de 0 a 0,3V 44

Figura 27 – Calibração do transistor 2N3055 no intervalo de 0,3 a 5,0V 44

Figura 28 – Ajuste do transistor 2N3055 no intervalo de 0 a 0,3V, com valores de radiação solar medido e estimado 45

Figura 29 – Calibração do transistor 2N3055 no intervalo de 0,3 a 5,0V 46

RESUMO

SUGAWARA, Márcio Takeshi, M. S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2003. **Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática**. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Carlos Alberto Viliotti e Gilberto Chohaku Sediyama.

A utilização de estações meteorológicas automáticas é importante para diversas atividades na agricultura moderna, com destaque para o manejo da irrigação, previsão de safra, previsão de doenças e aplicação de defensivos agrícolas. Apesar dos avanços tecnológicos e de preços, tem-se observado, ainda, dificuldades, por parte dos produtores rurais na instalação de estações meteorológicas automáticas, principalmente em razão dos custos de implantação e de manutenção. Assim, este trabalho objetivou o estudo de sensores com componentes eletrônicos comerciais, visando ao desenvolvimento de uma estação meteorológica automática de baixo custo. Os testes foram realizados no Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Foram testados sensores para medir a temperatura, a umidade relativa e a irradiação solar. Os sensores foram ligados a circuitos divisores de tensão e conectados a um sistema de aquisição automática de dados, ligado a um microcomputador do tipo PC, por meio da porta serial. No sensor de temperatura foi testado o termistor tipo coeficiente de temperatura negativo (NTC) com resistência de 10kΩ, a 25°C, e constante do material de 4000K (óxido de ferro e titânio). Como sensor de irradiação solar foi testado o transistor 2N3055 (Toshiba e SID). No sensor de umidade relativa foi testado o sensor capacitivo HIH-3610 (Honeywell), enquanto o de temperatura teve desempenho adequado, com ajuste linear com r^2 de 99%, e não foi afetado pelo tipo de abrigo, já o sensor de umidade relativa apresentou erros de 4,9 e 2,31% para os abrigos de polietileno e alumínio, respectivamente. Por sua vez, o sensor de radiação apresentou erros de 0,42 e 1,41Wm^{-2}, respectivamente para os intervalos de 265 a 1,300Wm^{-2} e 0 a 265Wm^{-2}. Os resultados indicaram a viabilidade de uso dos sensores alternativos na estação meteorológica, a fim reduzir custos, ressaltando-se

que os sensores-teste e o abrigo de sensores representaram 3,7% do custo do sensor-padrão.

ABSTRACT

SUGAWARA, Márcio Takeshi, M. S., Universidade Federal de Viçosa, August 2003. **Assessment of low cost sensors for automatic weather stations**. Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee members: Carlos Alberto Viliotti and Gilberto Chohaku Sediyama.

This work was carried out to study commercial sensors assessment for low cost automatic weather stations. Tests were carried out at the *Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão* of the Departamento de Engenharia Agrícola (Department of Agricultural Engineering) at the Universidade Federal de Viçosa. Air temperature, relative humidity, and solar radiation commercial sensors were tested. The sensors were linked to electric tension circuits splitter connected to an automatic data acquisition system, and then connected to a PC by the serial port. For air temperature sensor, a type of negative temperature coefficient (NTC) thermistor was used with an electrical resistance of 10 kΩ at 25°C, and a material constant of 4,000 K (iron and titanium oxide). The sensor for solar radiation was a 2N3055 transistor (Toshiba and SID). For the relative humidity sensor, a capacitive HIH-3610 sensor (Honeywell) was tested. While the air temperature sensor presented satisfactory performance, with determination coefficient (r^2) of 0.99, it was not affected by the shelter type. The relative humidity sensor presented errors between 4.90 and 2.31% under polyethylene and aluminum shelters, respectively. On the other hand, the solar radiation sensor presented errors of 0.42 and 1.41 Wm^{-2}, respectively, within the intervals of 265 to 1.300 Wm^{-2} and 0 to 265 Wm^{-2} of solar radiation intensities. Results indicated the feasibility of alternative sensors use in meteorological weather stations for cost reduction. The sensors tested and the sensor shelters together made up 3.7% of the total cost as compared to original automatic weather station standard sensor.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, como em todo o mundo, a maior demanda de água concentra-se na agricultura irrigada. O manejo racional da água para irrigação visa minimizar o consumo de energia, maximizar a eficiência do uso da água e manter favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das culturas (MOREIRA, 2002).

No manejo da irrigação é necessário quantificar a disponibilidade de água para as plantas, através de monitoramento da percentagem ou da tensão de água no solo ou, ainda, por meio de balanço hídrico, considerando-se as entradas e saídas do sistema. A evapotranspiração representa o principal modo de saída de água do sistema solo-planta, sendo, a partir de elementos meteorológicos possível estimá-la, quantificando-se a água necessária para irrigação. Para mensurar esses elementos, precisa-se de estações meteorológicas, podendo estas ser convencionais ou automáticas.

Atualmente, as informações meteorológicas seguem um programa mundial desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) entre os países associados para a previsão do tempo e do clima. No Brasil, o órgão responsável que participa desse programa é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com sede em Brasília, onde se encontra o Centro Regional para a América do Sul do Sistema Mundial de Telecomunicação. Os valores dos elementos meteorológicos são disponibilizados como boletins de previsão do tempo com baixa resolução e representatividade, ou disponibilizados na rede mundial de computadores, fazendo com que poucos produtores rurais tenham acesso a tais informações, que, além de importantes no manejo da irrigação, são utilizadas para a previsão de colheita, produtividade potencial, previsão de doenças e determinação do melhor momento de pulverizações e do plantio, entre outros (PEREIRA et al., 2002).

De acordo com LEY et al. (1994), nas medições dos elementos meteorológicos feitos por EMA é comum a ocorrência de erros decorrentes da calibração dos sensores, comprometendo a confiabilidade da medida das variáveis necessárias à estimativa da evapotranspiração. Segundo esses pesquisadores, quando as medições são feitas por estações meteorológicas

convencionais, os erros são ainda maiores, pois se acrescentam a esses erros instrumentais os do observador.

A utilização de estações meteorológicas automáticas (EMA) reduz esse tipo de problema para os produtores rurais, pois essas unidades medem e armazenam os elementos meteorológicos representativos de sua propriedade. Apesar de a EMA apresentar diversas vantagens em relação às estações convencionais, o investimento inicial ainda é elevado para uso agrícola. Destaca-se ainda, o custo de reposição dos sensores e peças, mão-de-obra qualificado para manutenção preventiva e corretiva, o que impossibilita o uso dessa tecnologia no Brasil pela maioria dos agricultores.

Com base no exposto, este trabalho objetivou estudar a viabilidade de sensores de baixo custo visando seu uso em estações meteorológicas automáticas, bem como de construir um abrigo para os sensores, com intuito de medir temperatura e umidade relativa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As observações meteorológicas de superfície são indispensáveis nas diversas áreas das atividades humanas e consistem na coleta rotineira dos elementos meteorológicos, que caracterizam o estado da atmosfera. A coleta dos elementos meteorológicos exige normas com relação a localização, tipos de instalação dos equipamentos e padronização dos horários de observação e dos procedimentos operacionais, como calibração e aferição dos equipamentos, o que permite a comparação dos dados coletados em diferentes locais, cuja diferença deve ser creditada unicamente à variação do macroclima (PEREIRA et al., 2002).

As estações meteorológicas de superfície podem ser classificadas de acordo com sua finalidade, complexidade, em termos do número de elementos meteorológicos observados, e pelo sistema de coleta dos dados. Quanto à finalidade das observações, existem estações climatológicas, estações aeronáuticas, estações agrometeorológicas e postos pluviométricos. Com relação ao sistema de coleta dos dados, têm-se as estações convencional e automática. E, quanto ao número de elementos observados, classificam-se em estações de primeira, segunda e terceira classes (PEREIRA et al., 2002).

A localização para a instalação de uma estação meteorológica seja ela convencional, seja automática, deve ser representativa da área desejada, devendo-se evitar condições extremas de relevo, com área bem exposta, com longos horizontes no sentido leste oeste, e de fácil acesso, evitando-se a presença de construções, árvores e lagos (PEDRO Jr. et al., 1987).

Nas estações meteorológicas convencionais são realizadas observações de superfície, com procedimentos sistemáticos padronizados visando obter informações qualitativas e quantitativas, referentes aos elementos meteorológicos capazes de caracterizar o estado instantâneo da atmosfera (VIANELLO e ALVES, 1991). Esta exige a presença diária (expediente normal, finais de semana, feriados e período noturno) do observador meteorológico para a coleta dos dados, pois os equipamentos utilizados em geral são de princípios mecânicos e normalmente de leitura direta. A padronização fielmente a ser seguida foi determinada pela

Organização Meteorológica Mundial (OMM), tendo em vista o caráter global dos estudos atmosféricos. Nessa padronização, incluem-se tipos de equipamentos, técnicas de calibração, aferição, ajuste, manuseio e procedimentos observacionais, além da definição de horários rigorosos de observação (12, 18, 24 h), tratamento dos dados observados e correções efetuadas (VAREJÃO SILVA, 2000).

Atualmente, as informações meteorológicas seguem um programa mundial desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) entre países associados para a previsão do tempo e do clima. No Brasil, o órgão responsável que participa desse programa é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com sede em Brasília, onde se encontra o centro regional para a América do Sul do Sistema Mundial de Telecomunicação (PEREIRA et al., 2002).

Estações meteorológicas automáticas coletam dados de superfície por meio de sensores eletrônicos e eletromecânicos, as quais são alimentadas por energia solar ou baterias, possuindo também um sistema automático de aquisição de dados. A leitura e a coleta dos dados podem ser executadas em intervalos de tempo programáveis (5, 10, 30 minutos e horas), por meio de sensores eletromecânicos, em que as variáveis climáticas são transformados em pulsos, diferença de potencial e corrente elétrica, necessitando de funcionário somente para descarregar os dados. Estes são armazenados em circuitos eletrônicos (módulos de memória) no interior das estações, possibilitando o processamento informatizado desses dados. A transferência de dados é feita de forma manual, através de mostrador de cristal líquido ou numérico (display) ou de um sistema de comunicação (portas de comunicação do microcomputador) estação meteorológica – computador, como: ondas de rádio, telefonia, satélite, cabos e outros (FARIA, 1998).

Segundo VAREJÃO SILVA (2000), as medições de temperatura e umidade relativa, de acordo com a OMM, devem ser feitas em abrigos meteorológicos, para evitar que a luz do sol incida diretamente sobre o sensor. Assim, esses abrigos fazem com que os valores de temperatura e umidade relativa medidos representem a condição térmica do ar local.

Em projetos agrícolas, dados meteorológicos confiáveis são de fundamental importância para o planejamento e manejo agrícola seguro. Considerações essenciais podem ser feitas com base nessas variáveis meteorológicas, devendo a sua coleta e processamento ser feito de forma adequada. Primeiramente, precisa-se determinar quais elementos meteorológicos serão coletados, assim como a amplitude destes considerando-se os objetivos do projeto.

CHANG (1971) caracterizou o peso e a ordem de importância desses elementos para estimativa da evapotranspiração de referência, sendo a radiação líquida, a umidade relativa e a velocidade do vento de 80, 6 e 14%, respectivamente, evidenciando o principal efeito da radiação global.

MELLO (1998) verificou que o coeficiente que obteve maior sensibilidade relativa foi a radiação solar, com 0,87, e que calculando ETo com o uso das radiações medida e estimada pela equação de Angström-Prèscott, estas não apresentaram diferenças significativas pelo teste t a 5% de probabilidade. Esse mesmo autor observou que erros de 0,4°C na medição da temperatura podem transferir erros de até 0,96% na estimativa da ETo pelo método de Penman-Monteith-(FAO). E para o cálculo do déficit de pressão de vapor usando temperatura e umidade relativa de +0,4°C e 5%, respectivamente, o erro transferido para a estimativa da ETo foi de 2,35%.

2.1 – Sensores

Sensores são dispositivos que variam suas propriedades sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer, direta ou indiretamente, um sinal que indica essa grandeza (BASTOS, 2002). Pode-se considerar também que um sensor é um tradutor de um valor, geralmente não-elétrico, para um valor elétrico; este pode ser canalizado, amplificado e modificado através de dispositivos eletrônicos. O sinal de saída pode apresentar-se na forma de diferença de potencial e corrente elétrica (GÜTHS e De PAULO, 1998). Tal conjunto de características é designado pelo formato do sinal de saída. Assim, um sensor apresenta propriedades de entrada, que podem ser de qualquer tipo, e propriedades elétricas de saída (BOLTON, 1988).

Os sensores e os sistemas de aquisição de dados possuem características desejáveis, como: sensibilidade, precisão, faixa de atuação, estabilidade, tempo de resposta, histerese, linearidade e outros.

Segundo BASTOS (2002):

- Sensibilidade – É definida como a resposta de um sensor em relação à variação do estímulo para permitir um sinal de saída detectável.
- Precisão – É o termo que descreve o grau de liberdade dos erros aleatórios ou o grau de repetitividade e de reprodutibilidade.
- Intervalo de indicação ou atuação – É o conjunto de valor limitado pelas indicações extremas ou valores máximos e mínimos que podem ser medidos pelo sensor.
- Estabilidade – É uma característica desejável do sensor é a não variação de suas características físicas em relação ao tempo de uso.
- Tempo de resposta – É o tempo que um sensor precisa para transformar a variação de um estímulo em sinal elétrico.
- Histerese – É a característica de um sensor retornar ao seu estado físico inicial com a variação do estímulo.

- Linearidade – É uma característica desejável de um instrumento, onde a leitura deste é linearmente proporcional à grandeza a ser medida.

Verificado as características dos sensores a serem utilizados, têm-se a seguir, situações em que é vantajoso o uso desses instrumentos: a) quando se pretende efetuar um grande número de medições, em um período de tempo considerável. Nesse caso, a aquisição automática de dados dispensará o observador de uma tarefa monótona e cansativa que poderia conduzir ao aparecimento de erros sistemáticos, b) quando se pretende efetuar um determinado número de medições num intervalo de tempo muito curto, também se tornam evidentes as vantagens do uso de sensores, em que dificilmente o observador conseguiria obter e registrar todos os valores naquele intervalo de tempo tão reduzido, c) quando se pretende medir diferentes grandezas na mesma atividade, o uso de vários sensores simultaneamente dispensará a existência de diferentes observadores, e cada um dos quais só poderia ocupar-se da medição e registro dos valores de uma ou, quando muito, duas grandezas, e d) eliminar possíveis erros sistemáticos cometidos pelo observador (HELFRICK e COOPER, 1994).

Em qualquer sistema de aquisição de dados em que são realizadas inúmeras medidas sobre dado sistema, o resultado numérico dessas medidas deve ser tal que esteja dentro de uma exatidão que dê confiança daquilo que foi realizado. Os erros ou desvios sempre representam um resultado discutível e, por esse motivo, existe como verificar e classificar os tipos de erros que o sistema de medição está fornecendo na leitura e no armazenamento dos dados, como: erros grosseiros, sistemáticos, instrumentais e outros (BASTOS, 2002). Segundo esse mesmo autor:

- Erros grosseiros – São causados pelo descuido ou por falta de habilidade da pessoa que está medindo, como: Leitura errada (troca de algarismo na leitura), ligações erradas, erro de paralaxe.
- Erros sistemáticos – São os que aparecem em uma série de medidas com certa constância e um sentido determinado. Abrangem os erros de construção ou aferição, que são dados pela qualidade do material empregado; os erros de

imperfeição do observado e os da imperfeição dos métodos de medida.

- Erro instrumental – Devido à ineficácia do instrumento: todos os instrumentos e padrões possuem uma exatidão de qualquer espécie, conforme as características fornecias pelo fabricante.

Há sempre uma tolerância proveniente da calibração e inexatidão adicionais que ocorrem devido ao decurso do tempo e uso. Em virtude do mau trato ou de efeitos de sobrecarga dos instrumentos, pode-se dizer, com grande convicção, que os erros de medição são originados, muito mais vezes, mais pelo operador do que pelo próprio instrumento. Um bom instrumento usado de maneira imprópria pode gerar medidas bem falsas (BASTOS, 2002). Esses erros podem ser originados de pequenas coisas, como: ajuste incorreto do zero, uso de resistência alta nos fios e regulagem inicial mal-feita, que podem ser classificados como erro ambiental e aleatório.

De acordo com BASTOS (2002):

- Erro ambiental – Os instrumentos de medição interagem com o meio, isso incluindo qualquer condição na região em volta da área de ensaio que tenha efeito na medida. Sabe-se que a temperatura afeta as propriedades dos materiais de forma adversa, como: elasticidade, dimensões etc. Outras fontes de erro são: umidade, vibração, campos magnéticos, poluentes etc.
- Erros aleatórios – Aparecem por motivos indeterminados mesmo depois de aplicadas as correções dos erros sistemáticos. São erros acidentais de difícil eliminação.

Na maioria dos casos, a grandeza sob medição é de natureza não-elétrica. Para utilização dos métodos elétricos para medição, manipulação ou controle, a quantidade não-elétrica deve ser convertida em um sinal elétrico, por meio de um sensor (HELFRICK e COOPER, 1994). Para a medição das variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa, irradiação solar, velocidade do vento, chuva etc.), os sensores elétricos são amplamente utilizados.

Os sensores elétricos podem ser classificados de acordo com sua maneira de conversão dos sinais e da natureza da saída do sinal, sendo denominados sensores passivos e sensores ativos. Estes não necessitam de fonte externa de energia, enquanto aqueles sim. No caso em que o sensor é passivo, um sistema de condicionamento de sinal é necessário para fazer a medição. O mais comumente utilizado é o circuito divisor de tensão (HELFRICK e COOPER, 1994).

O condicionamento de sinais é a maneira que o sinal do sensor é tratado antes da ligação com o sistema de aquisição de dados. É importante para interfaciar de forma adequada os sinais analógicos fornecida pelo sensor passivo, para que o mesmo possa ser convertido em sinal digital para a aquisição dos dados (HELFRICK e COOPER, 1994), como mostrado na Figura 1.

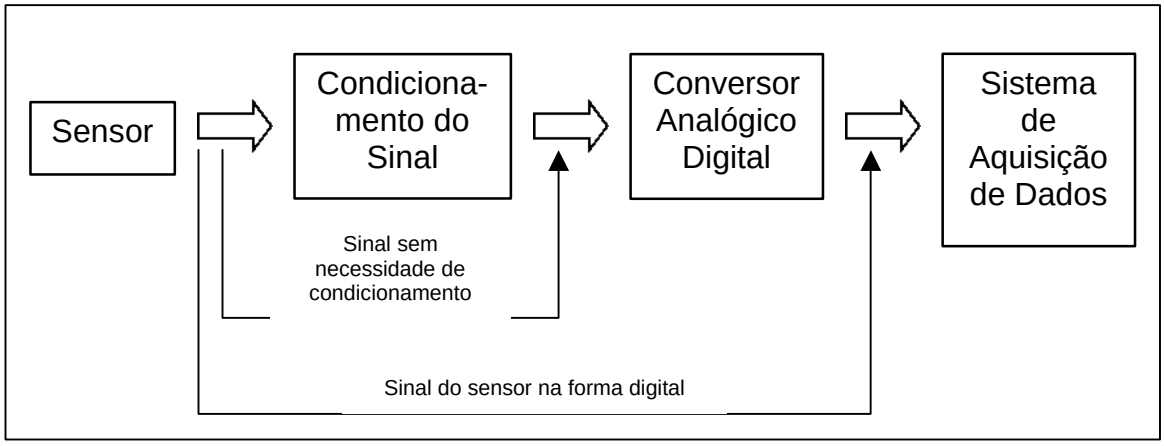

Figura 1 – Interface completa do condicionamento do sinal do sensor e do sistema de aquisição de dados.

Existem vários tipos de condicionamento de sinais. Os principais são divisores de tensão (quando o sensor é passivo, aplica-se uma fonte de corrente externa para obter sinal de saída), mudança de nível (quando necessita amplificar ou atenuar o sinal), linearização (quando é necessário linearizar o sinal de saída de um sensor não-linear), conversão (quando a distância é longa, usa-se transformar a tensão em corrente e corrente em tensão), isolação (quando o sinal de saída é muito elevado, usam-se os amplificadores isolados para a interface com sistema de aquisição de dados), filtragem (quando há alguma freqüência de ruído no sinal, utilizam-

se filtros como resistores, capacitores, indutores e outros componentes passivos), casamento de impedância (quando a impedância da linha da interface causa erro na medida), e outros (BASTOS, 2002).

2.2 – Termistor

Como sensor elétrico de temperatura existem os termistores. O termistor NTC é um resistor que apresenta coeficiente negativo de temperatura, ou seja, é um elemento cuja resistência decresce com o aumento da temperatura, ao contrário dos metais, cuja resistência aumenta com a elevação da temperatura e, por isso, mesmo apresentam coeficiente positivo (FRADEN, 1996).

Esses sensores são fabricados a partir de óxidos semicondutores, predominantemente com uma mistura de óxidos metálicos, como: Fe_3O_4 com Zn_2TiO_4 (óxido de ferro com óxido de titânio e zinco) ou CoO com Li_2O (óxido de cobalto com óxido de lítio), que em geral atuam no intervalo de -100 até 300°C, com resistência ôhmica variando de 0,5 a 75M (FERREIRA, 2002).

A expressão que descreve a dependência da resistência de um NTC pela temperatura é dada por:

$$R = R_o \, e^{b\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \qquad (1)$$

em que:

R = resistência do termistor numa temperatura T (K);
R_0 = resistência do termistor numa temperatura T_0 (K);
= constante do material de construção do termistor;

Na Figura 2, observa-se o comportamento não-linear de um termistor NTC, cuja expressão foi descrita anteriormente (Equação 1).

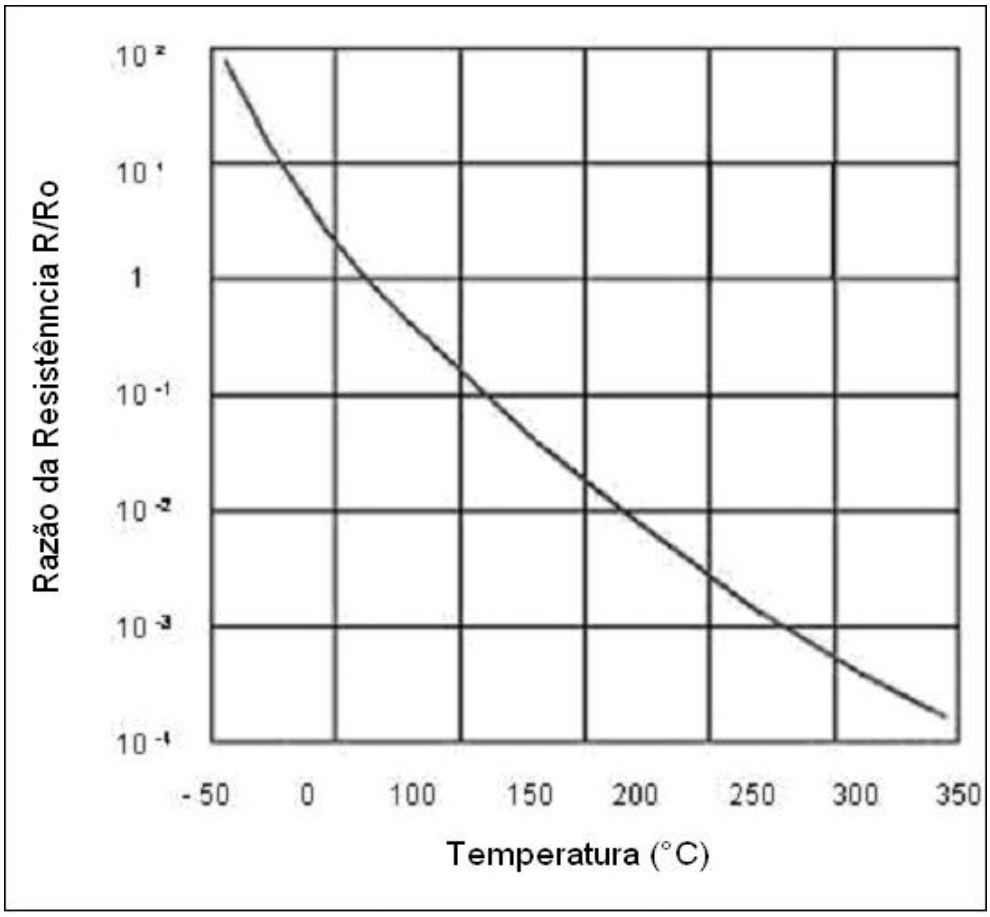

Figura 2 – Comportamento não-linear do termistor NTC na faixa de -50 a 350°C.

Para determinar o valor da constante do material ( ) de um termistor NTC desconhecido, é medido o valor de sua resistência em duas temperaturas diferentes, T_1 e T_2. Desssa forma, é estabelecida uma relação que permite obter esse valor (CIPELI et al., 2001).

$$R_1 = R_0 \, e^{b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right)} \tag{2}$$

$$R_2 = R_0 \, e^{b\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0}\right)} \tag{3}$$

Dividindo a Equação (2) pela (3), obtém-se:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{e^{b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right)}}{e^{b\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0}\right)}} \tag{4}$$

Aplicando, agora, o logaritimo neperiano em ambos os membros da expressão (4), tem-se:

$$\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = \ln\left[e^{b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right)}\right] - \ln\left[e^{b\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0}\right)}\right] \tag{5}$$

$$\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right) - b\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0}\right) \tag{6}$$

$$\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \tag{7}$$

$$b = \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\left(\frac{1}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}\right) \tag{8}$$

Pode-se, então, determinar a resistência *R* de um termistor NTC desconhecido, tomando-se como referência a temperatura de 25°C e utilizando a Equação (7), juntamente com a Equação (8), para temperaturas acima e abaixo de 25°C (CIPELI et al., 2001).

Para determinar temperatura acima de 25°C, tem-se:

$$\ln\left(\frac{R_{25}}{R_T}\right) = b\left(\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T_T}\right) \tag{9}$$

Para determinar temperatura abaixo de 25°C, tem-se:

$$\ln\left(\frac{R_T}{R_{25}}\right) = b\left(\frac{1}{T_T} - \frac{1}{T_{25}}\right) \tag{10}$$

Além do NTC, existem outros tipos de termistores que utilizam os mesmos princípios, com comportamentos resistivos e dopagem de material diferente, como: PTC, PTC metálico, termistores de cobre, platina e níquel entre outros.

Os termistores disponíveis no mercado possuem formas de pontas de prova, discos e barras. Esses são geralmente utilizados em aparelhos compensadores de temperatura, controladores de tempo, controladores de voltagem e potência em circuitos eletrônicos (FERREIRA, 2002).

2.3 – Sensor capacitivo

Nos últimos 20 anos foram desenvolvidos capacitores como sensores de umidade atmosférica. Em geral, são formados por uma camada de polímeros que cobre um metal com uma fina camada de ouro depositada sobre ele, por evaporação a vácuo. Essa camada de ouro assim depositada é um filme suficientemente fino que permite a difusão do vapor d'água por meio dessa camada. Os higrômetros são bastante sensíveis e apresentam variação linear da capacitância elétrica, com a umidade relativa entre 0 e 75% e precisão em torno de 2%. Nessa faixa, o tempo de resposta é muito baixo, alguns décimos de segundo, embora se torne mais lento com a redução da temperatura. A partir dos 75% de umidade relativa, verificam-se aumento no tempo de resposta e maior afastamento da linearidade (Field et al., citados por PEARCY et al., 1989).

Atualmente, existem no mercado sensores de umidade relativa com princípio capacitivo, construído de polímeros, platina e placa de silício. A

umidade relativa é medida com a variação das propriedades físicas do dielétrico com a quantidade de água existente no ambiente em relação a dada temperatura. O sensor já possui internamente o circuito condicionador de sinal que transforma a variação da capacitância em diferença de potencial (SILVA, 2000).

SILVERTHORNE et al. (1988) avaliaram a repetitividade, a histerese e o tempo de resposta do sensor de umidade relativa integrada (combinação do circuito condicionador de sinal interno com capacitância), em que a saída do sinal linear com a umidade relativa apresentou erro de 1,6% e tempo de resposta de 10 segundos, considerando ambos os valores satisfatório para uso geral.

O capacitor é um componente formado por duas placas condutoras separadas a uma distância (d). Este é caracterizado pela magnitude das cargas (q) e pela diferença de potencial entre os condutores.

$$C = \frac{q}{V} \tag{11}$$

em que:

q = quantidade de carga (C);
V = diferença de potencial (V);
C = capacitância (F);

Para o dimensionamento de capacitores, a capacitância é dada pela seguinte relação:

$$C = \frac{e_0 \ A}{d} \tag{12}$$

em que:

C = capacitância (F);
$_0$ = constante dielétrica no vácuo (9×10^9);

A = área da placa condutora (m^2);
d = distância entre as placas condutoras (m);

Em 1837, Faraday investigou o preenchimento entre as placas condutoras do capacitor com um material dielétrico. Esse preenchimento com material dielétrico fez com que a capacitância aumentasse em relação à constante k característica do material.

O aumento da capacitância devido à presença do material dielétrico resultou em uma polarização molecular, ou seja, as moléculas do dielétrico são polarizadas quando há ação do campo elétrico externo (FRADEN, 1996).

Inserindo a constante dielétrica (*k)* na Equação (12), tem-se:

$$C = k\frac{e_0\ A}{d} \tag{13}$$

Um capacitor de placas condutoras preenchidas com ar atmosférico pode ser utilizado para o sensor de umidade relativa, pois este ar modifica a permissividade elétrica conforme a seguinte equação (FRADEN, 1996):

$$k = 1 + \frac{211}{T}\left(P + H\ \frac{48\ P_S}{T}\right)10^{-6} \tag{14}$$

em que:

k = permissividade do material;
T = temperatura do ar (K);
P = pressão atmosférica (mmHg);
P_S = pressão de saturação de vapor no ar na temperatura T (mmHg);
H = umidade relativa (%);

A Equação (14) estima a constante dielétrica do ar atmosférico, sendo, então, a capacitância proporcional à umidade relativa.

Em vez do ar atmosférico, o espaço entre as placas condutoras, do capacitor devem ser preenchidas com um material isolante apropriado, do qual deve ser sensível às mudanças da constante dielétrica em relação à umidade (FRADEN, 1996).

O sensor capacitivo de umidade relativa é construído de material higroscópico com eletrodos metálicos em ambos os lados, sendo a capacitância desse capacitor proporcional à umidade.

2.4 – Transistor 2N3055

Dispositivos fotossensíveis são ferramentas importantes para a detecção da quantidade de energia radiante incidente, possuindo sensibilidade aos diversos comprimentos de onda do visível e não-visível, como ultravioleta, infravermelho e outros.

Os detectores de radiação eletromagnética nas bandas do ultravioleta a infravermelho, são chamados de detectores de luminosidade, sendo, esses sensores divididos em dois grupos: quânticos e termais (FRADEN, 1996). Os quânticos medem a radiação no espectro do ultravioleta ao infravermelho e os sensores térmicos, a radiação do espectro do quântico mais os espectros acima e abaixo.

Esses detectores são construídos com silício dopado com prótons e elétrons e material semicondutor. Com esse material com excesso ou falta de elétrons, forma-se uma junção, à qual se dá o nome de junção PN. Iluminando a junção com luz ou radiação, tem-se uma transferência de elétrons da junção N (que contém excesso de elétrons) para a junção P (tem falta de elétrons), provocando um deslocamento de elétrons (corrente elétrica), o que produz nos terminais de ligação da junção uma variação na impedância (REIS & SIMÕES, 1982).

Esses sensores utilizam materiais semicondutores cristalinos que possuem interação individual com os fótons. A energia de um fóton é dada pela seguinte equação:

$$E = h\,v \tag{15}$$

em que:

E = energia de um fóton (J);
h = constante de Plank;
v = freqüência (Hz);

Quando um fóton com energia específica incide sobre a superfície semicondutora, a mesma gera um elétron livre, e parte dessa energia é usada para separar o elétron da superfície, enquanto a outra parte fornece a energia. O efeito fotoelétrico é dado pela equação a seguir:

$$E = \Phi + K_m \tag{16}$$

em que:

E = energia de um fóton (J);
= energia usada para separar o elétron (J);
K_m = saldo de energia (J);

Efeito similar ocorre em materiais semicondutores que têm uma junção PN sujeita a uma energia radiante. Nessas condições, a transferência de energia do fóton é suficientemente elevada para gerar uma corrente elétrica (FRADEN, 1996). A equação a seguir quantifica esse efeito da condução elétrica de um cristal semicondutor em razão da concentração de energia do elétron (Equação 17).

$$s = e\left(m_e\ n + m_h\ p\right) \tag{17}$$

em que:

= condutividade do cristal semicondutor;
e = carga do elétron (C);
$_e$ = mobilidade do elétron;

$_h$ = mobilidade da lacunas ou buracos;

p = concentração de elétrons na lacuna p (Positiva);

n = concentração de elétrons na lacuna n (Negativa);

O foto-transistor converte diretamente fótons em transportadores de carga, especificamente um elétron em cada lacuna. Além disso, fornece um ganho de corrente, resultando em um aumento de sensibilidade. Se o transistor é conectado a um circuito contendo uma bateria, o fluxo de corrente é foto-induzido através de um ciclo que inclui a região da base e do emissor. Essa corrente é amplificada por um transistor da mesma maneira que em um transistor convencional, resultando em acréscimo significantivo no coletor. As bandas de energia para o foto-transistor são mostradas na (Figura 3).

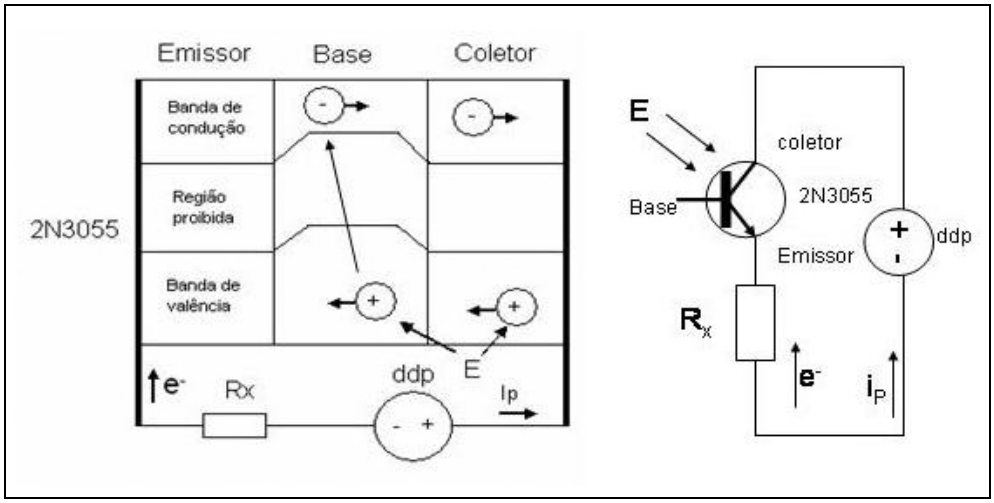

Figura 3 – Ciclo do elétron do transistor 2N3055 da banda de valência para a banda de condução pela incidência da luz e o circuito divisor de tensão do transistor 2N3055 sob ação da intensidade luminosa.

O transistor 2N3055 é um componente eletrônico de uso geral utilizado em amplificadores, inversores de tensão, fontes reguláveis e chaves eletrônicas de potência, entre outras aplicações. Por possuir um invólucro de metal, as junções positivas (P) e negativas (N) do semicondutor podem ser expostas retirando a capa de proteção metálica, tornando-o um sensor fotoresistivo sensível à luz. Se iluminar essa junção com luz comum, tem-se uma transferência de elétrons da junção N para a junção P provocando um deslocamento de elétrons e produzindo nos terminais de

ligação da junção uma diferença de potencial elétrico ou a variação da impedância do semicondutor, que pode ser medido pelo condicionamento de sinal.

2.5 – Sistema de aquisição de dados

Sistemas de aquisição de dados são utilizados para a medição e registros de sinais gerados pelo sensor. Os sinais provenientes dos sensores são, em sua maioria, analógicos. Tais sinais, ao chegarem ao sistema de aquisição de dados, são convertidos em sinais digitais, de forma discreta, contendo informações da amplitude ou da grandeza em questão (HELFRICK e COOPER, 1994).

Existem vários tipos de sistema de aquisição de dados além do sistema ligado diretamente ao microcomputador, como: controlador programável, registrador e outros sistemas de aquisição de dados (HELFRICK e COOPER, 1994).

O sistema de aquisição de dados consiste em sistemas de elementos que o compõem, como: condicionador de sinais (circuito divisor de tensão, amplificador operacional e outros), dispositivo de indicação visual (monitor de vídeo, mostrador de cristal líquido ou numérico), conversor analógico digital e registrador (memória externa, disco rígido e outros) (FARIA, 1998). Este sistema é vantajoso, pois torna flexível a manipulação dos dados, uma vez que de acordo com o programa desenvolvido para coletar os dados, estes podem ser descartados imediatamente sem arquivamento.

Na Figura 4, mostra-se a característica de um sistema de aquisição de dados, com todas as etapas.

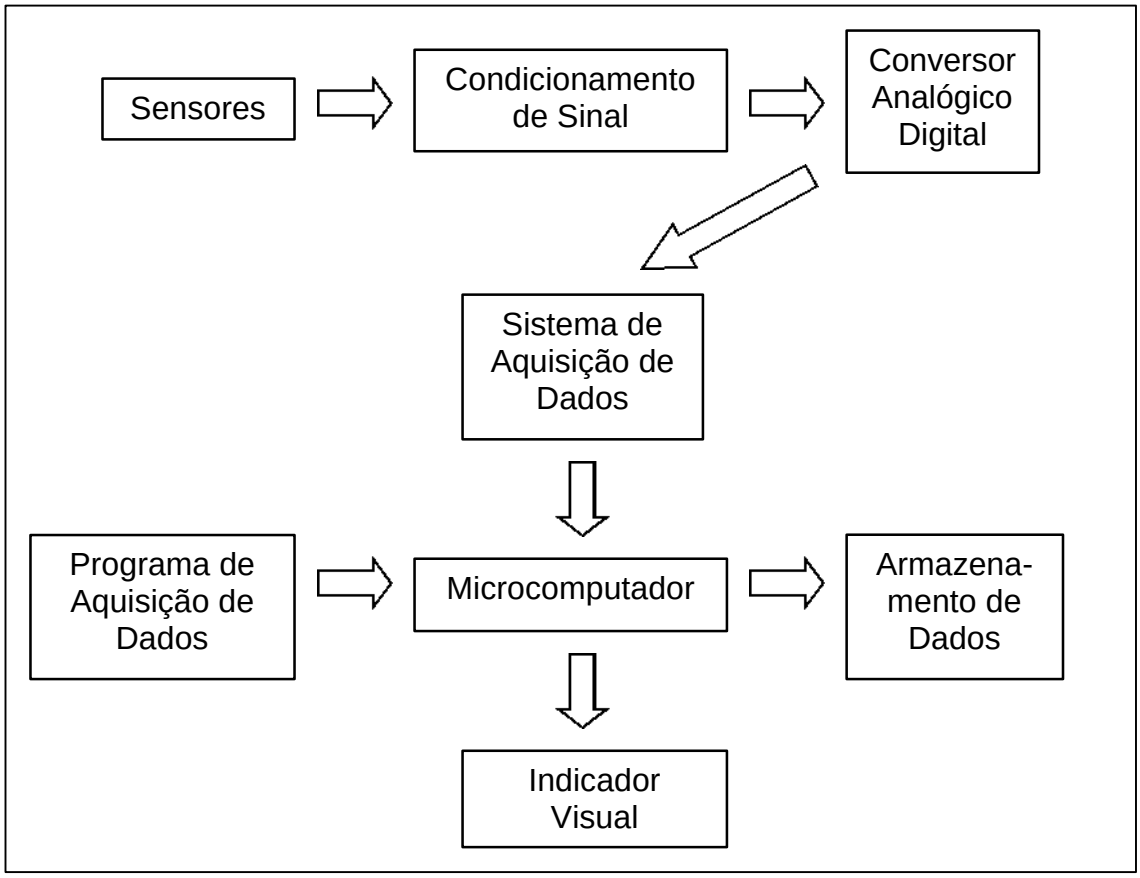

Figura 4 – Sistema de aquisição de dados completo, do sensor até o armazenamento de dados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto, a construção e os testes para o estudo dos sensores foram conduzidos no Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Foram escolhidos um sistema de aquisição de dados, sensores-padrão de temperatura, umidade relativa e radiação solar e sensores-teste de temperatura, umidade relativa e radiação solar.

Na primeira etapa, coletaram-se os dados meteorológicos de temperatura, umidade relativa e radiação solar utilizando os sensores-padrão e os sensores-teste, mediante um sistema de aquisição de dados, a fim de determinar a calibração do sensor, o intervalo de medição, a histerese e o tempo de resposta.

Na segunda etapa, foi confeccionada a proteção dos sensores, abrigo dos sensores e coleta de dados a campo.

Na terceira etapa, discutiram-se o custo e a viabilidade do sensor em relação aos sensores comerciais.

3.1 – Sensores-Padrão

Como sensor-padrão de temperatura e umidade relativa, foi utilizado um termoigrômetro (HUMITTER 50Y, VAISALA, Finlândia) (Figura 5), com intervalo de operação da temperatura entre -10 e 60°C, precisão de 0,5°C e umidade relativa de 10 a 90%, precisão de 5%, tempo de resposta de 10s, e equação de calibração fornecida pelo fabricante. As tensões elétricas provenientes dos sensores foram inseridas em um sistema de aquisição de dados e armazenadas em um microcomputador. Através das Equações (18) e (19), foram obtidas a temperatura e a umidade relativa. O custo deste sensor é de aproximadamente US$860,00.

$$T = 100\,V_T - 40 \tag{18}$$

$$UR = 100\,V_{UR} \tag{19}$$

em que:

T	=	temperatura (°C);
UR	=	umidade relativa (%);
V_T	=	tensão de saída Temperatura(V);
V_{UR}	=	tensão de saída Umidade relativa(V);

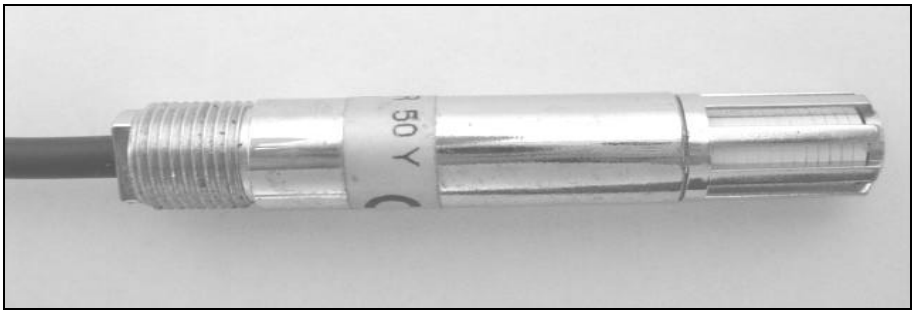

Figura 5 – Termoigrômetro considerado padrão; HUMITTER 50Y-VAISALA.

Para o sensor de radiação solar, foi utilizado o piranômetro LI-200SA, LiCor, mostrado na Figura 6, com detector fotovoltaico, faixa espectral de 300 nm a 1.100nm, tempo de resposta 10µs, e equação de calibração fornecido pelo fabricante. A tensão elétrica proveniente do sensor foi inserido no sistema de aquisição de dados e armazenados em um microcomputador. Através da equação (20), obteve-se a radiação solar. O custo deste sensor é de aproximadamente US$ 820,00.

$$Rad = 70203{,}52\, V_S \qquad (20)$$

em que:

Rad	=	radiação solar (W m^{-2});
V_S	=	tensão de saída (V);

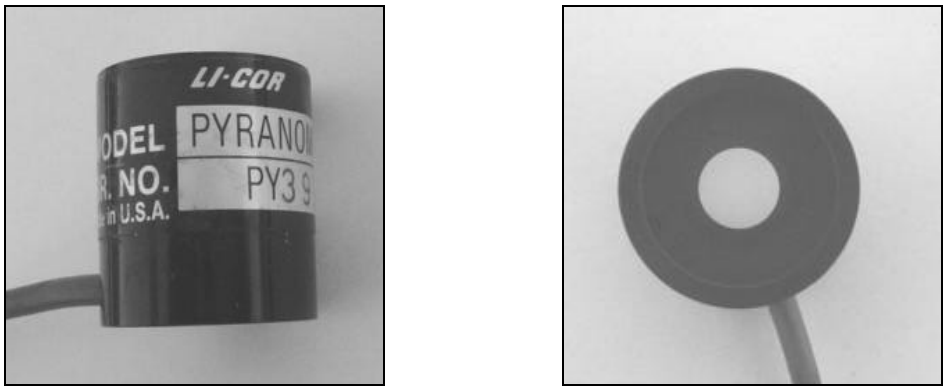

Figura 6 – Piranômetro considerado padrão; Li-200SA, LiCor

3.2 – Sistema de aquisição de dados (SAD)

No sistema de aquisição de dados foram utilizados um microcomputador PC, uma fonte de corrente contínua regulável e o SAD, da marca CBCom (CB7052, CB7017, CB7018, Computer Boards, EUA), mostrado na Figura 7, que possui módulos com canais analógicos de comunicação serial (RS-232 e RS-485) e mede a tensão elétrica dos sensores. Foi desenvolvido um algoritimo para a coleta dos dados em linguagem de programação “C” (Apêndices A, B e C), no qual os intervalos de leitura e de armazenamento em arquivo ASCII foram programados de um segundo e um minuto.

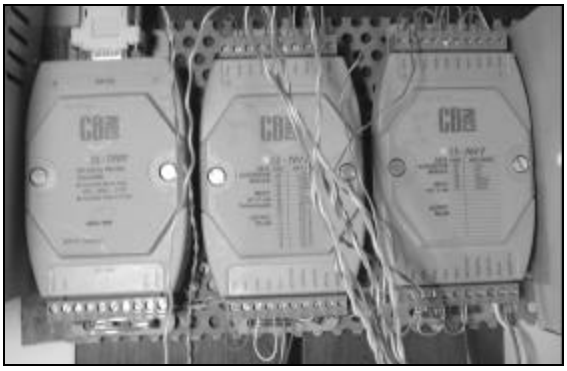

Figura 7 – Sistema de aquisição de dados com comunica o microcomputador, utilizados para a armazenamento de dados com o algoritimo de linguagem “C”.

3.3 – Condicionamento do sinal

Partindo do princípio de que o sensor passivo precisa de uma fonte de corrente elétrica externa, existem vários métodos para que o estímulo

desse sensor possa ser convertido em sinal analógico, para que o sistema de aquisição de dados o converta em sinal digital.

O condicionamento de sinal utilizado foi o circuito divisor de tensão, ao qual se conectou um resistor de valor fixo (Rx) de 10k em série com os terminais do sensor e foi aplicado uma diferença de potencial de 5V. O valor do resistor (Rx) foi de 10k , para conferir uma segurança ao sistema, no caso da impedância do termistor e do transistor 2N3055 diminuir.

Na Figura 8, mostra-se o esquema de ligação do circuito divisor de tensão para o sensor de temperatura e radiação solar, respectivamente.

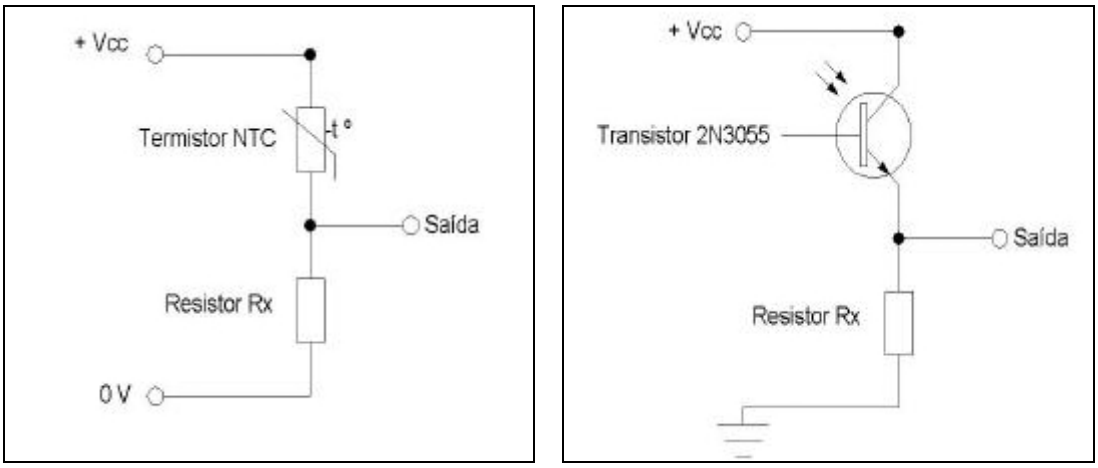

Figura 8 – Esquema do circuito divisor de tensão utilizado para condicionar o sinal fornecido pelo NTC e 2N3055.

A tensão elétrica de saída do circuito divisor de tensão é dada pela Equação 21.

$$V_S = \frac{R_S}{R_S - R_X} V_E \tag{21}$$

em que:

V_S = tensão elétrica da saída (V);
V_E = tensão de entrada (5V);
R_x = resistor fixo (10k);
R_S = resistência do sensor ( );

A saída de tensão de cada circuito foi ligada ao sistema de aquisição de dados, que converte o sinal analógico em digital e, por meio da comunicação serial com o computador, os dados enviados e armazenados em arquivo ASCII.

Para o sensor de umidade relativa não foi necessário o condicionamento de sinais, pois ele possui uma característica ativa, em que o próprio fornece valores de tensão linearmente com a variação da umidade relativa, que pode ser ligado diretamente ao sistema de aquisição de dados.

3.4 – Sensor de temperatura

Para o sensor de temperatura foi utilizado o termistor coeficiente de temperatura negativo (NTC). O NTC tem resistência inversamente proporcional à temperatura e uma relação não-linear. O mesmo foi escolhido por apresentar comportamento linear na faixa de -20 a 50°C. O sensor é fabricado de compostos semicondutores, como os óxidos de cobalto, magnésio, cromo e outros tipos de óxidos. A resistência ôhmica do termistor NTC escolhido a 20°C é de 10k , com a constante do material de 4.000K (óxido de ferro e titânio) (Figura 9), tendo o custo de aproximadamente R$ 1,50.

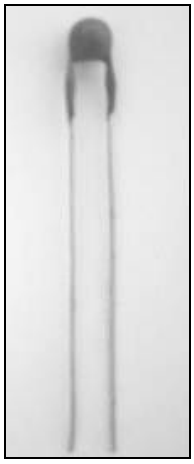

Figura 9 – Termistor NTC de 10k , componente de dois terminais e com elemento sensível composto de óxidos.

Para verificar o tempo de resposta e o intervalo de medição, foram feitos dois sistemas de medição, em que a primeira foi para o intervalo de -6 a 19°C e, a segunda, para o intervalo de 24 a 44°C.

No primeiro sistema de medição, utilizaram-se dois recipientes de alumínio, dois termômetros de mercúrio em vidro, água e gelo. Em um dos recipientes de alumínio colocou-se gelo triturado juntamente com um termômetro (-6°C) e no outro, água à temperatura ambiente com o outro respectivo termômetro (19°C). Colocou-se o termistor ligado ao SAD com intervalo de coleta de um segundo, inicialmente no recipiente com gelo, e, após alguns minutos, ele foi retirado rapidamente e colocado no recipiente com água à temperatura ambiente.

No segundo sistema de medição foram usados dois recipientes de alumínio, dois termômetro de mercúrio em vidro, água, serpentina elétrica e um variador de tensão. Em um dos recipientes de alumínio, colocaram-se água e serpentina elétrica com variador de tensão juntamente com um termômetro (44°C) e, no outro, água à temperatura ambiente com o outro termômetro a 24°C. No recipiente com serpentina elétrica, a água foi submetida a uma temperatura constante de 44°C e noutro recipiente, água a 24°C. Colocou-se o termistor ligado ao SAD com intervalo de coleta de um segundo, inicialmente no recipiente com água a 44°C, e, após alguns minutos, ele foi retirado rapidamente e colocado no recipiente com água à temperatura ambiente.

3.5 – Sensor de umidade relativa

Para o sensor de umidade relativa, foi testado o sensor capacitivo HIH-3610, Honeywell, EUA (Figura 10), que possui a faixa de operação de 0 a 90%, precisão de 2% e tempo de resposta de 15s. O sensor capacitivo mede a umidade relativa utilizando a Equação (22), em que V_S é a tensão elétrica em relação à variação da capacitância com a umidade relativa, V_E é a diferença de potencial que é fornecida para esse sensor, cujo custo é de aproximadamente R$ 90,00.

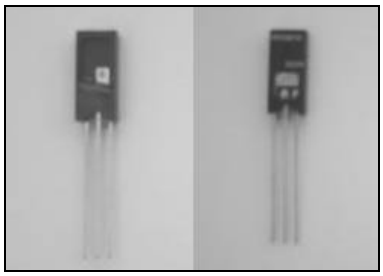

Figura 10 – Figura do sensor capacitivo de umidade relativa HIH-3610, componente com três terminais com elemento sensível composto de placas de platina e polímero.

$$UR = \left(\frac{V_S}{0{,}0062\, V_E} \right) - 25{,}8 \qquad (22)$$

em que:

UR = umidade relativa (%);

V_S = tensão elétrica da saída (V);

V_E = tensão de entrada (5V);

Para obter a equação de calibração, o sensor foi conectado ao SAD juntamente com o termoigrômetro da marca Vaisala (sensor-padrão), fornecendo uma diferença de potencial regulada de 5V, em que foram coletados os dados na atmosfera ambiente com variação de 20 a 95%.

As medidas da tensão elétrica no sensor foram coletadas em intervalos de um minuto. Com os dados coletados no termoigrômetro da marca Vaisala e com os valores da umidade relativa medidos pelo sensor-teste, obteve-se a equação de calibração desse sensor.

Para verificar o tempo de resposta, montou-se um sistema de câmara com sílica-gel (15%) e câmara úmida (80%). Inicialmente, com o SAD coletando dados no intervalo de um segundo, o sensor-padrão e o sensor teste foram colocados dentro da câmara úmida (80%) e, após alguns minutos, colocados na câmara seca (15%).

3.6 – Proteção dos sensores de temperatura e umidade relativa

Todo sensor precisa ter uma forma de proteção conta poeira, chuva, insetos, e outros agentes causadores de danos.

HUBAND et al. (1984) analisaram o desempenho do abrigo de sensor de temperatura e umidade relativa confeccionado de alumínio, de 33 cm de diâmetro e 20cm de altura, em relação ao do abrigo meteorológico convencional. Obtiveram temperatura superior a 1K em relação ao abrigo convencional para temperatura máxima em dias claros e temperatura inferior a 1,5 K para temperatura mínima em noites sem nuvem.

Para proteção do sensor de temperatura e umidade relativa, foi confeccionada uma cápsula utilizando um cilindro poroso com diâmetro de 1,5cm e comprimento de 3,0cm, cilindro de TEFLON com 1,3cm de diâmetro e comprimento de 4,0cm, soquete para componentes eletrônicos e cola (Figura 11). O custo do abrigo do termoigrômetro foi aproximadamente de R$ 4,00.

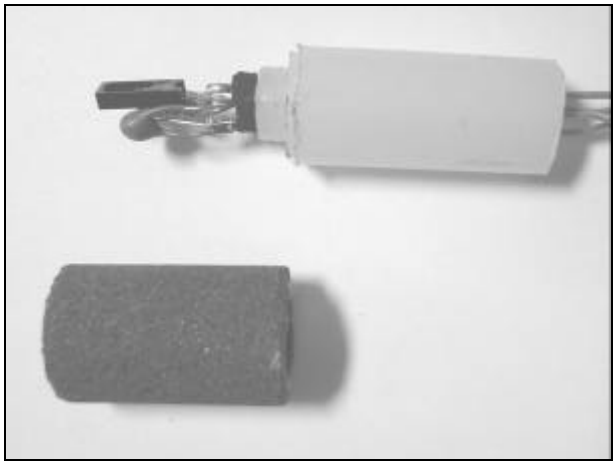

Figura 11 – Encapsulação do sensor de temperatura e umidade relativa, utilizando-se cilindro de teflon e cápsula porosa.

3.7 – Abrigo dos sensores de temperatura e umidade relativa

Um abrigo meteorológico eficiente deve proteger os instrumentos da radiação solar direta, comportando-se como um dissipador de calor. Segundo as normas da OMM, os valores de temperatura e umidade relativa devem ser medidos protegidos da radiação, para que a temperatura e umidade relativa apresentem valores representativos do local.

Tendo em vista esse problema, confeccionou-se um abrigo de sensores, tendo como modelo a estação meteorológica automática da marca Delta-T Devices Ltd, Cambridge UK, que utiliza abrigo de sensor de temperatura e umidade relativa, construído em alumínio com película sintética de cor branca. De acordo com o descrito, foram utilizados discos de alumínio com diâmetro de 15cm pintados de branco, placas de PVC de diâmetro de 15cm e 7cm, montados em espaçadores com cilindro de TEFLON de 1,5cm de comprimento e 1,3cm de diâmetro, folha de PVC circular e parafuso (Figuras 12, 13, 14 e 15). O custo do abrigo dos sensores foi de aproximadamente R$ 17,00.

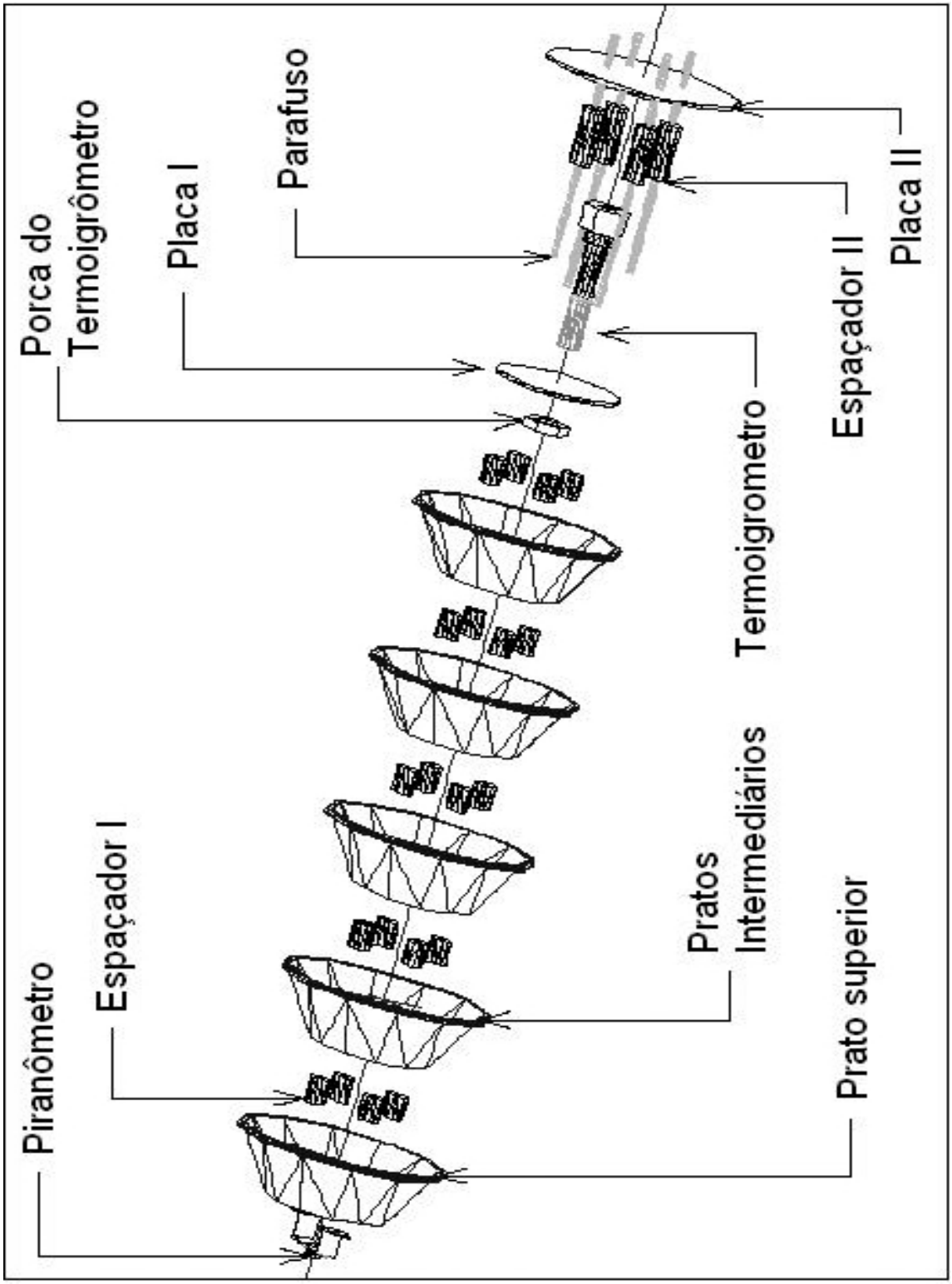

Figura 12 – Diagrama com os componentes utilizados para confecção do abrigo de sensores de temperatura, umidade relativa e radiação solar.

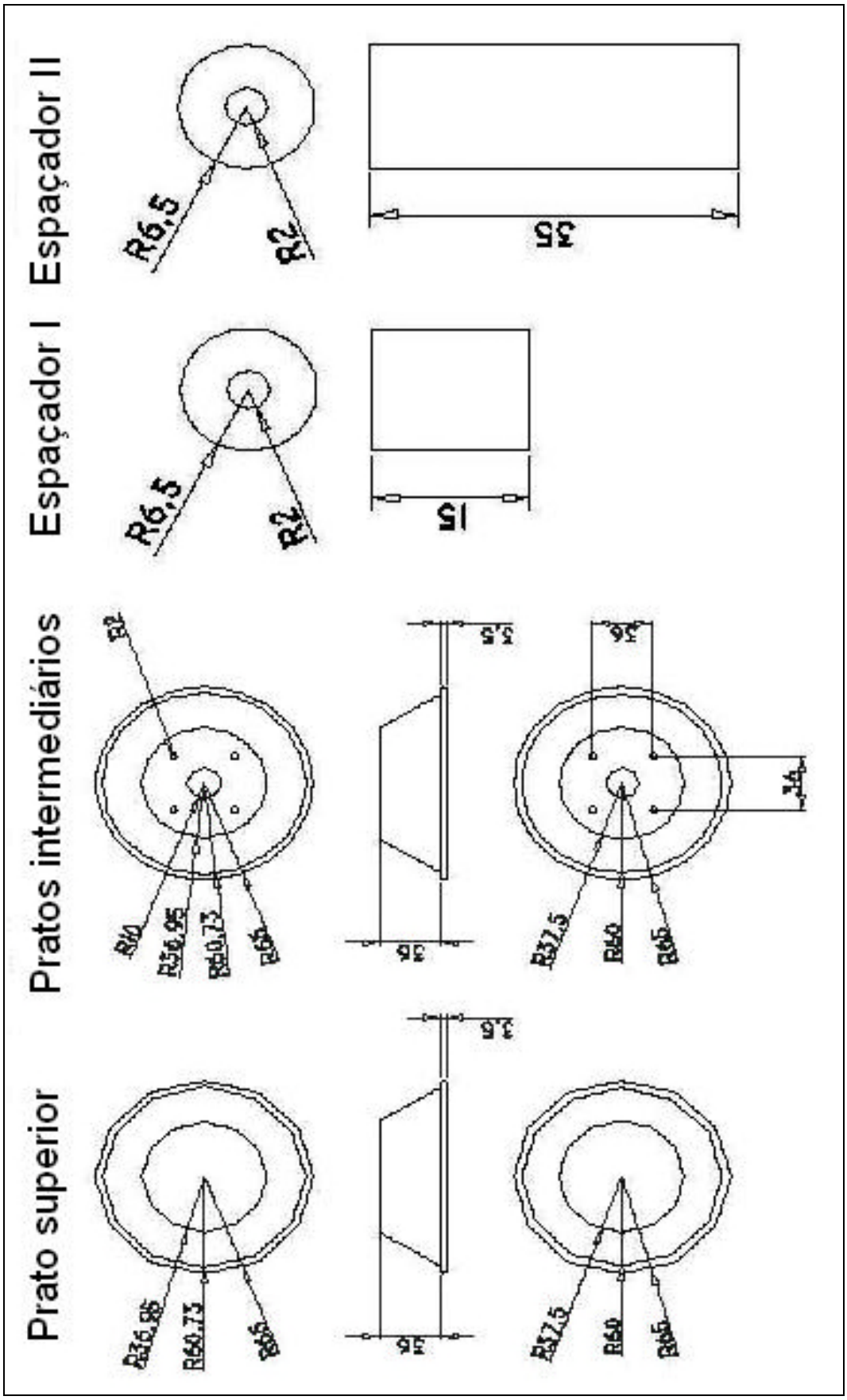

Figura 13 – Dimensões em mm do disco de alumínio superior e intermediário e espaçadores de teflon.

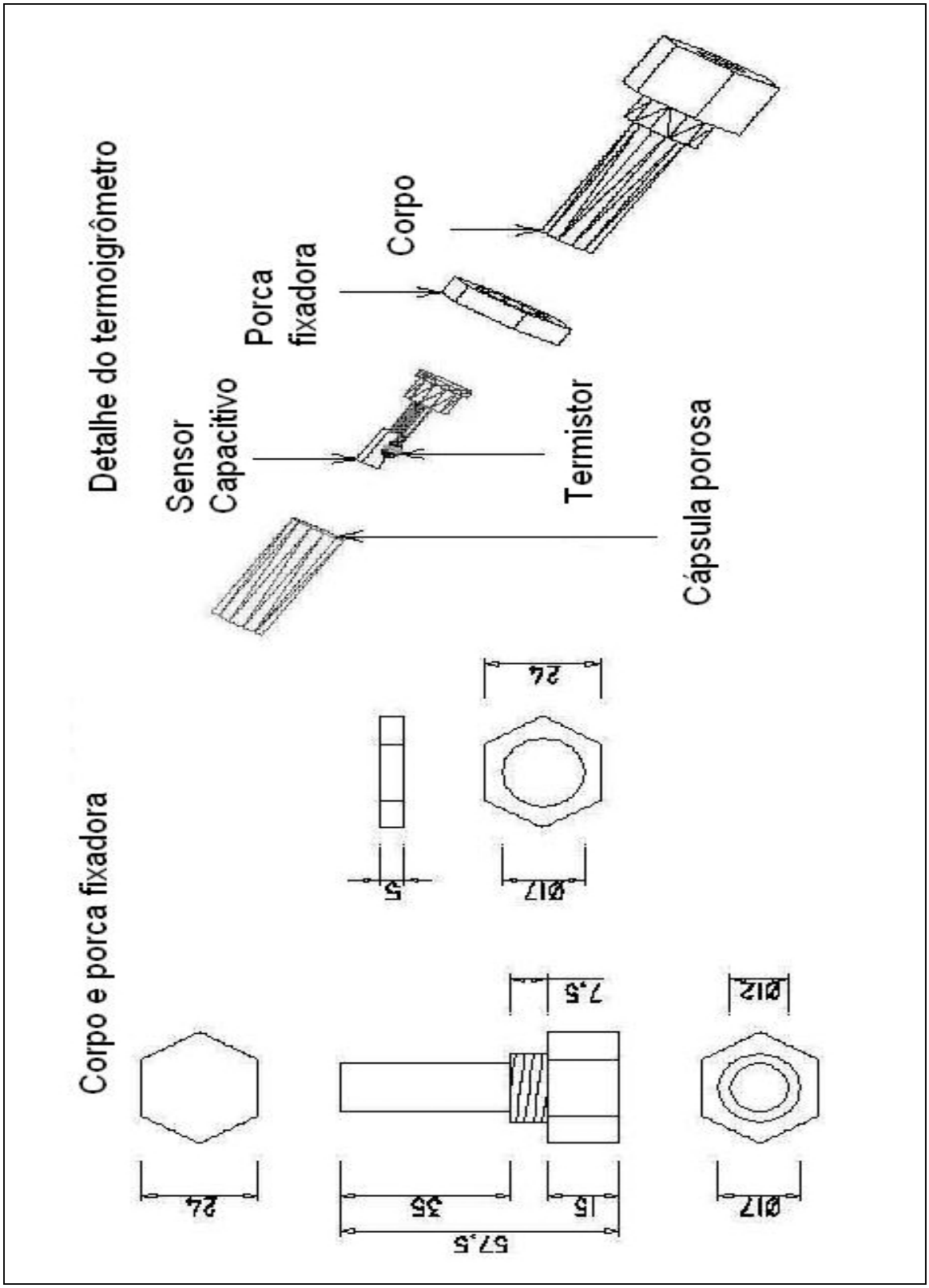

Figura 14 – Dimensões em mm da proteção dos sensores de temperatura e umidade relativa utilizando cilindro poroso, cilindro de teflon, corpo e porca fixadora.

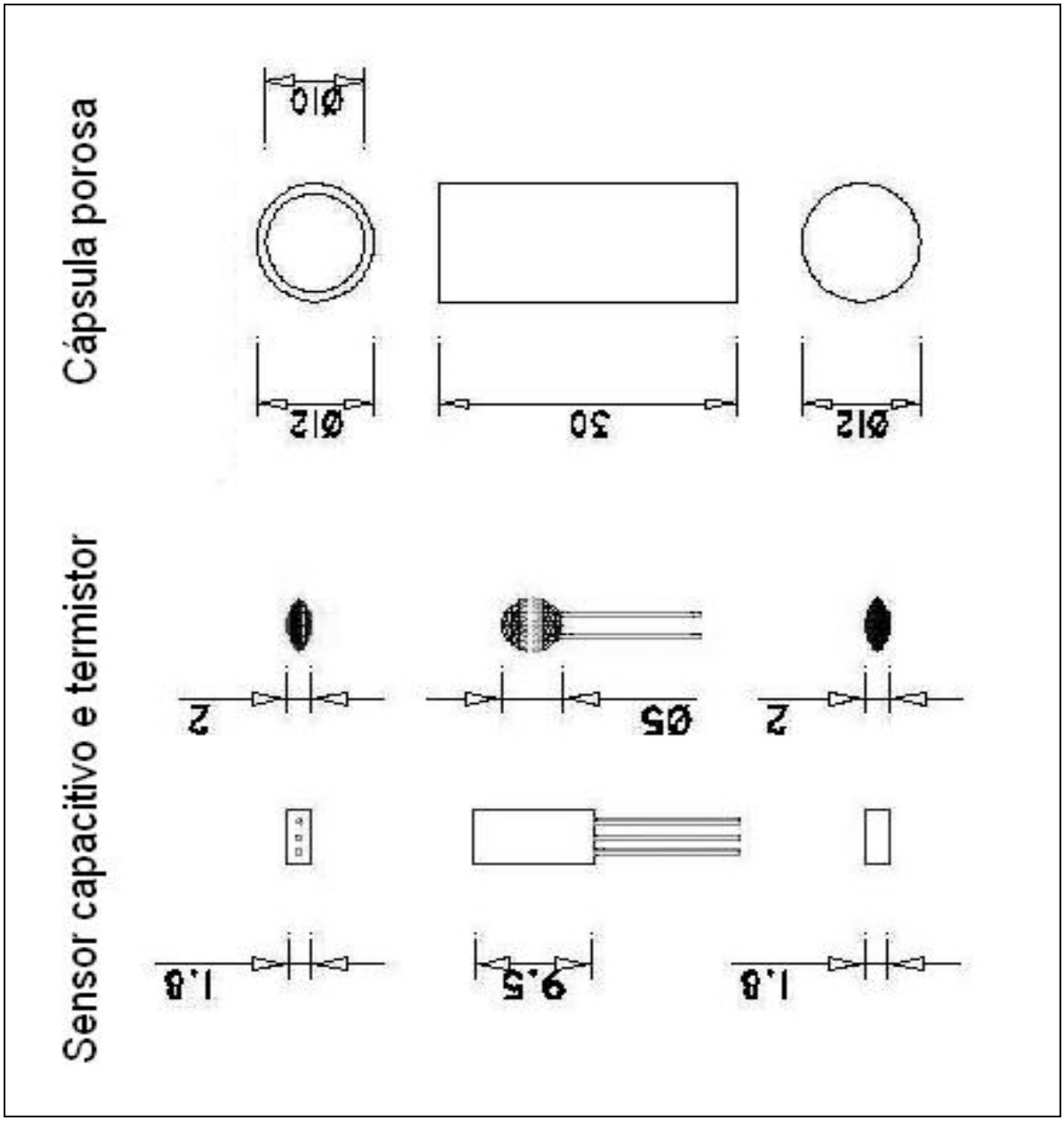

Figura 15 – Dimensões em mm do termistor NTC, higrômetro HIH-3610 e cilindro poroso.

3.8 – Sensor de radiação solar

No sensor de radiação solar foi utilizado o transistor 2N3055 (TOSHIBA e SID BRASIL). O 2N3055 é um transistor NPN de alta potência de uso geral (usado em amplificadores, inversores de tensão, fonte de corrente contínua etc), que apresenta um invólucro metálico. Retirando-se seu invólucro metálico e expondo sua junção NP à radiação solar, a impedância em seus terminais (coletor, emissor) varia conforme a intensidade luminosa (Figura 16). O custo deste sensor foi em torno de R$ 5,00.

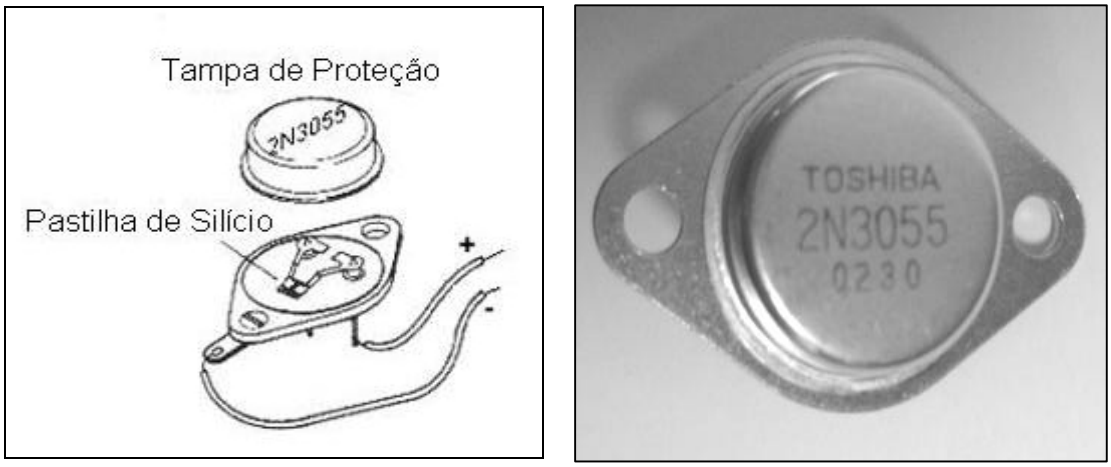

Figura 16 – Transistor 2N3055, sem a tampa de proteção expondo a junção PN à radiação.

O transistor 2N3055 foi ligado ao circuito divisor de tensão com diferença de potencial de 5V e conectados a um sistema de aquisição de dados com coleta destes em intervalo de um segundo. Para validação do transistor 2N3055 como sensor de radiação, foi conectado ao mesmo sistema de aquisição de dados um piranômetro da marca LiCor (sensor-padrão).

Os sensores foram colocados em uma câmara escura com uma lâmpada incandescente ligada ao variador de tensão, cuja variação na tensão da lâmpada modificava a intensidade de radiação de $0Wm^{-2}$ a $1.180Wm^{-2}$. A lâmpada incandescente foi escolhida pelo fato de emitir a radiação no espectro como faz a radiação solar.

Com os dados coletados, foram plotados os gráficos para determinar o intervalo de medição e o tempo de resposta dos sensores-teste.

Para a proteção do sensor de radiação solar foi confeccionado um invólucro, utilizando uma lamínula de vidro, borracha-silicone e um suporte de alumínio. Essa lamínula de vidro leva o transistor 2N3055 a fazer medição somente na faixa de radiação de ondas curtas.

3.9 – Coleta de dados

A coleta de dados dos sensores foi realizada no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, no período de fevereiro a Julho de 2003. Os sensores foram instalados lado a lado, em relação à trajetória aparente do Sol, como mostrado na Figura 17.

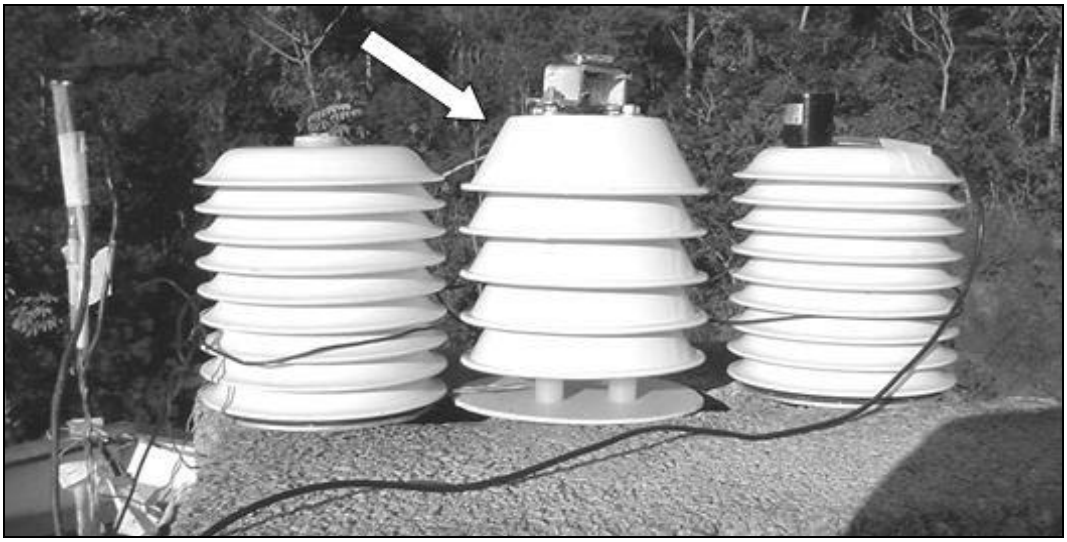

Figura 17 – Abrigo de sensores padrão e teste utilizado para a coleta dos dados de temperatura, umidade relativa e radiação solar em campo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados coletados de temperatura, umidade relativa e radiação solar utilizando o sensor-padrão e sensores-teste, fez-se a plotagem dos dados para obter a equação de calibração e a análise de regressão da equação de calibração de todos os sensores-teste.

4.1 – Temperatura

Com os valores da temperatura-padrão e a tensão elétrica fornecida pelo termistor NTC (Figura 18), foi feita a análise de regressão para gerar a equação de calibração do sensor de temperatura NTC, em que se teve como resultado a equação: Y = 69,46 – 17,31X e r^2 = 0,99, sendo os coeficientes linear e angular estatisticamente significativos a 5% de probabilidade.

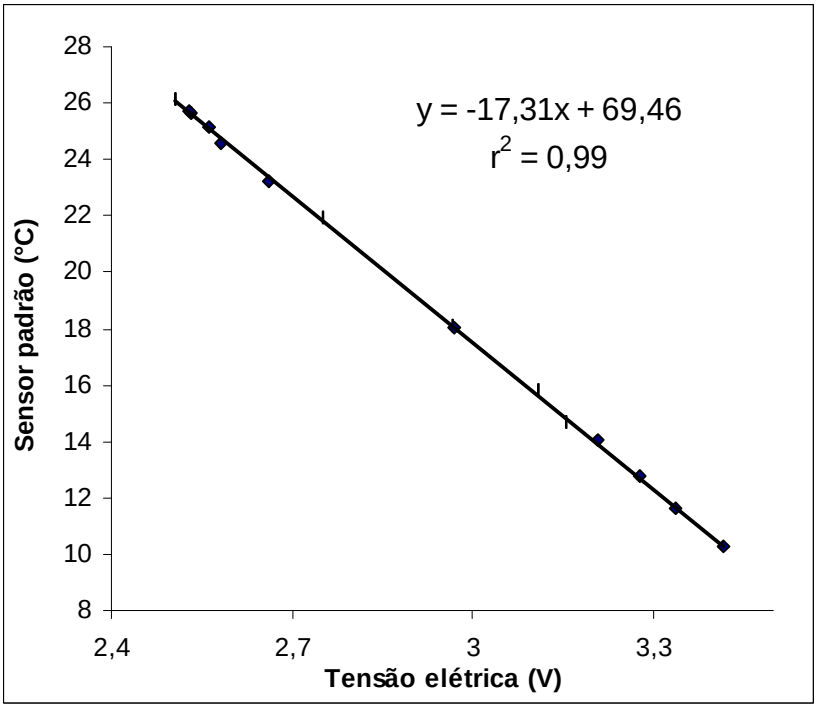

Figura 18 – Calibração do termistor NTC, em que são plotadas a tensão elétrica proveniente do NTC e a temperatura-padrão, verificando-se a diminuição da resistência em relação ao aumento da temperatura.

Com os dados de temperatura do sensor-padrão e a temperatura estimada com os dados coletados em abrigo de polietileno (Figura 19), obteve-se uma análise de regressão que mostra o ajuste dos valores das temperaturas medida e estimada. Verifico-se que o sensor-teste subestima valores em relação ao sensor-padrão. Também, observa-se que o sensor-

teste tem um ajuste satisfatório em relação ao sensor-padrão, pois o coeficiente linear se aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação explica 99% da variação dos dados observados.

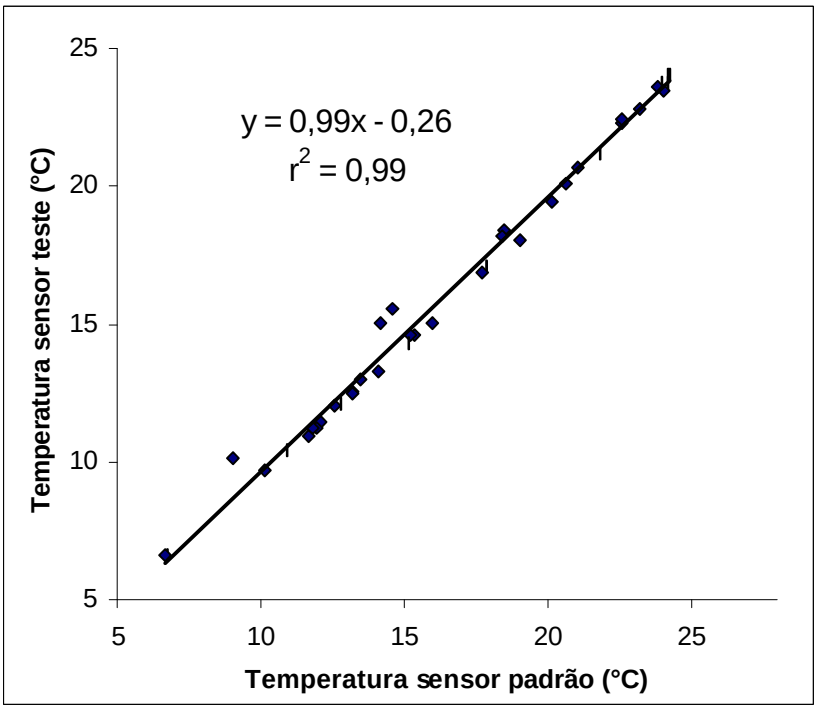

Figura 19 – Ajuste do sensor-teste em relação ao sensor-padrão com os valores de temperatura medido em abrigo de polietileno.

Com os dados de temperatura do sensor-padrão e temperatura estimada com os dados coletados em abrigo de disco de alumínio (Figura 20), obteve-se uma análise de regressão que mostra o ajuste dos valores da temperatura medida e estimada, verificando que os valores de temperatura do sensor-teste se aproximam dos do sensor padrão. Também, observa-se que o sensor-teste tem um bom ajuste em relação ao sensor-padrão, pois o coeficiente linear se aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação explica 99% da variação dos pontos.

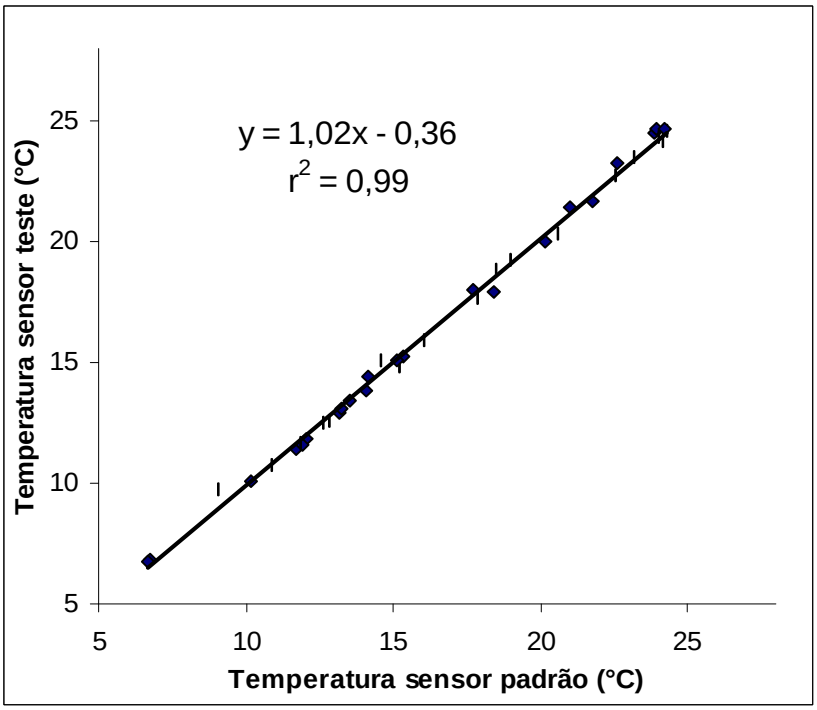

Figura 20 – Ajuste do sensor-teste em relação ao sensor-padrão com os valores de temperatura estimado em abrigo de alumínio.

Na Figura 21, mostra-se o comportamento do termistor NTC na faixa de -6 a 19 °C. O NTC tem uma resposta mais rápida quando a temperatura está aumentando. Verificou-se que o tempo de resposta do sensor no intervalo total de -6 a 19 °C foi de dois minutos, não apresentando interferências, pois não há variação da temperatura ambiente de 25 °C durante o período de dois minutos e o intervalo de coleta de dados pelo sistema de aquisição de dados é superior a dois minutos.

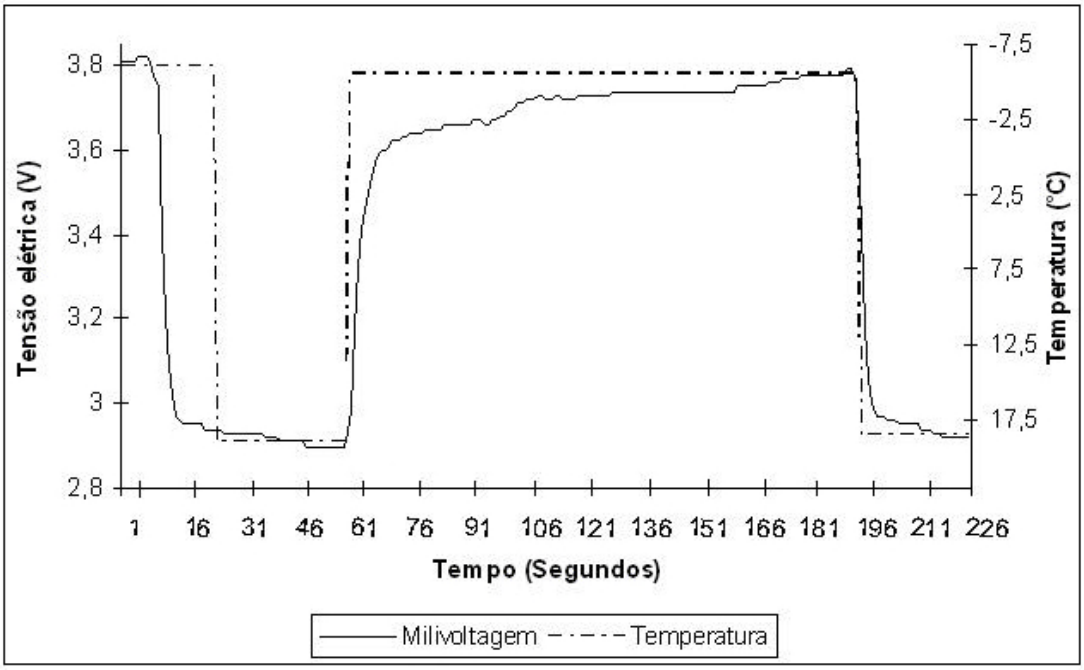

Figura 21 – Tempo de resposta do termistor NTC no intervalo de temperatura de -6 a 19 °C.

Na Figura 22, representa-se o comportamento do termistor NTC no intervalo de 24 a 44 °C. Verifica-se nessa figura, novamente que o tempo de resposta ao aumento da temperatura é menor com a elevação da temperatura. Observa-se, ainda, que o tempo de resposta do sensor no intervalo total de 24 a 44 °C foi de três segundos, também não-significativo, pelos mesmos motivos expostos anteriormente.

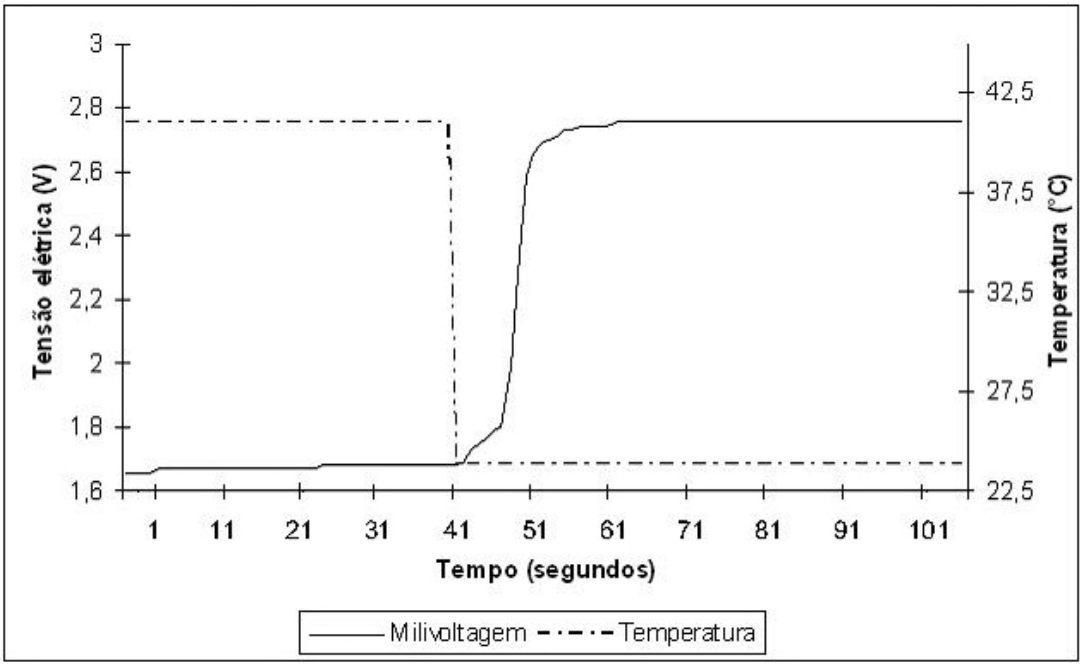

Figura 22 – Tempo de resposta do termistor NTC no intervalo de temperatura de 24 a 44 °C.

Notou-se que é necessário um tempo para que o sensor responda aos estímulos externos.

4.2 – Umidade relativa

Com os valores de umidade relativa padrão e estimados, em que se observou o tempo de resposta (Figura 23), e o intervalo de medição do sensor teste, verificou-se que o tempo de resposta do sensor-teste está de acordo com o especificado, uma vez que o sensor-padrão possui um tempo de resposta menor e o intervalo de medição também está de acordo com o especificado.

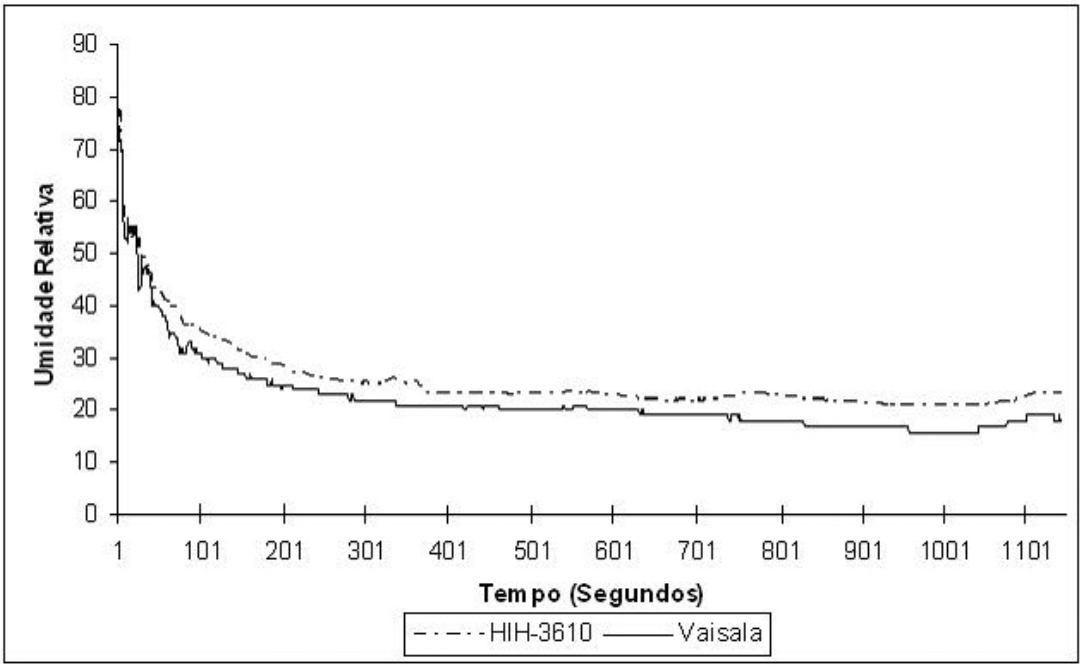

Figura 23 – Tempo de resposta dos sensores-padrão e teste no intervalo de 15% a 80% de umidade relativa.

Dos valores da umidade relativa medida em abrigo de alumínio foi feita uma análise de regressão (Figura 24), obtendo-se a equação de calibração Y = -2,33 + 1,00 X e r^2 = 0,99, em que o sensor-teste subestima valores em relação ao sensor-padrão.

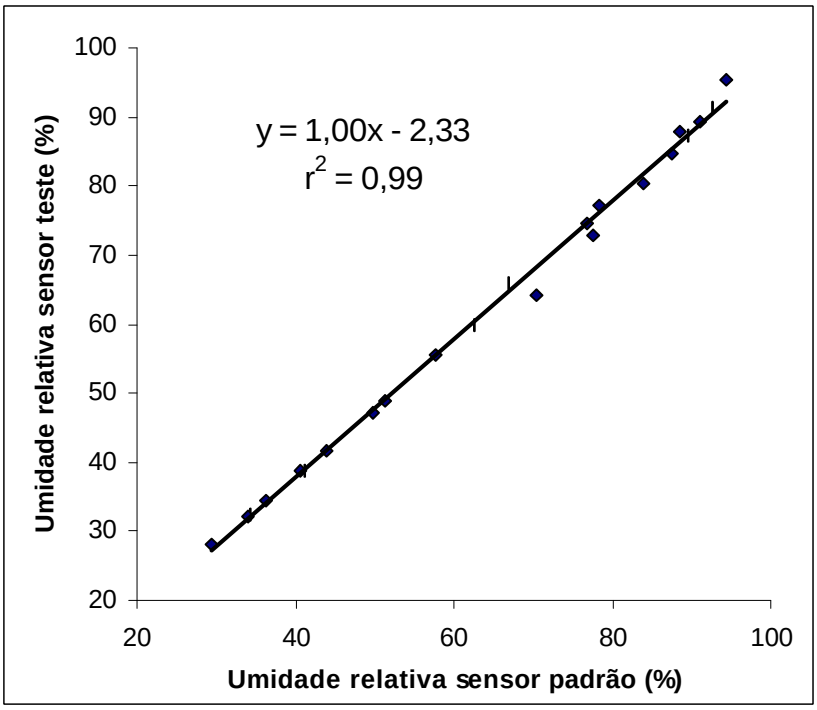

Figura 24 – Calibração do sensor-teste de umidade relativa em relação ao sensor-padrão, utilizando-se o abrigo de alumínio.

Dos valores de umidade relativa medida em abrigo de polietileno foi feita uma análise de regressão (Figura 25), obtendo-se a equação de calibração Y = -4,9 + 1,01 X e r^2 = 0,98, em que o sensor-teste subestimou valores em relação ao sensor-padrão.

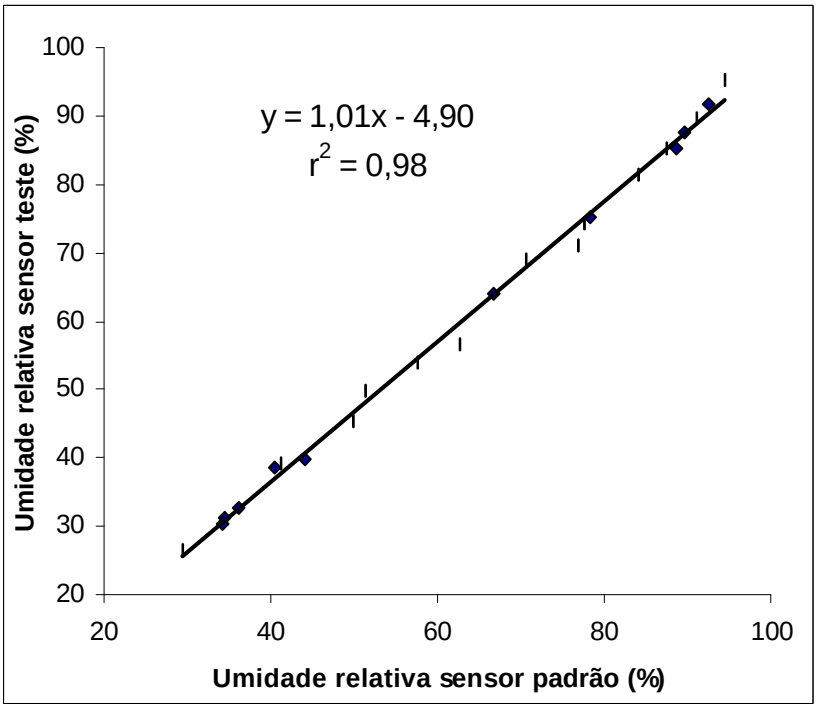

Figura 25 – Calibração do sensor-teste de umidade relativa em relação ao sensor-padrão, utilizando-se o abrigo de polietileno.

4.3 – Radiação solar

Dos valores da radiação solar padrão e da tensão elétrica fornecida pelo transistor 2N3055 (Figura 26) foi feita uma análise de regressão para gerar a equação de calibração do transistor 2N3055. A calibração do transistor 2N3055 teve duas equações: a primeira descreve a radiação solar no intervalo de 1.300Wm^{-2} a 265Wm^{-2}, tendo como resultado a equação $Y = 54,29\ X^{-1,1147}$ e $r^2 = 0,91$ (Figura 27); e a segunda, a radiação solar no intervalo de 265Wm^{-2} a 0Wm^{-2}, resultando na equação $Y = 268,25 + 51,25\ X$ (Figura 26).

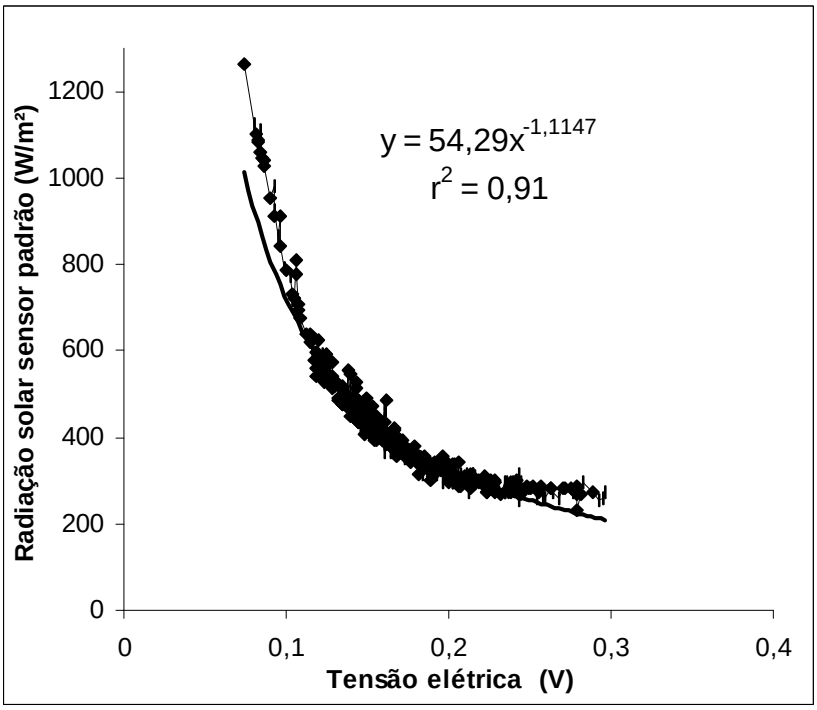

Figura 26 – Calibração do transistor 2N3055 no intervalo de 0 a 0,3V.

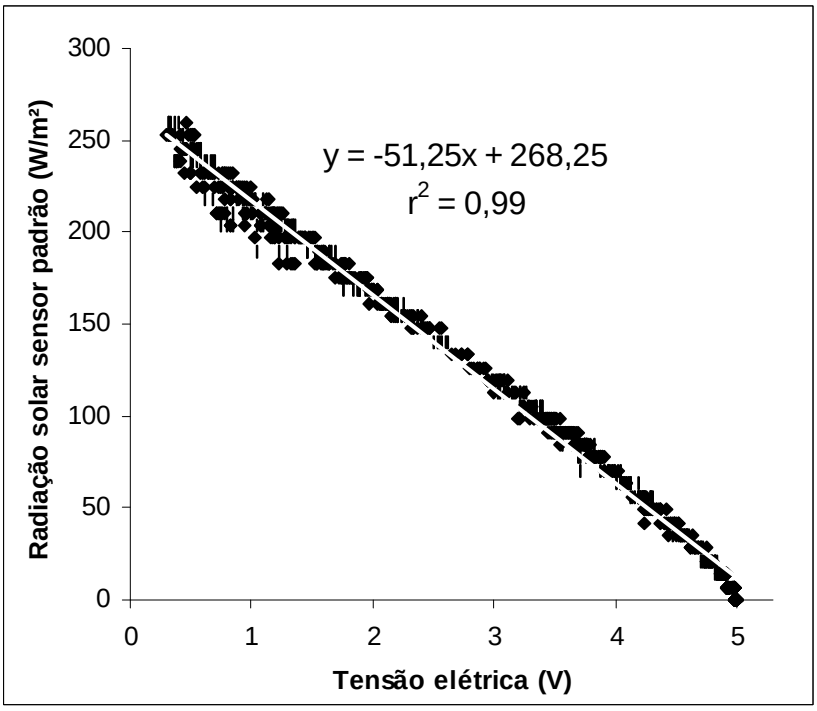

Figura 27 – Calibração do transistor 2N3055 no intervalo de 0,3 a 5,0V.

Com os dados de radiação solar do sensor-padrão e radiação solar estimada pelo transistor 2N3055 utilizando as equações de calibração (Figuras 28 e 29), obteve-se, por meio da análise de regressão, o ajuste dos valores medido e estimado da radiação solar. Verificou-se que o sensor-teste tem um erro de 1,41Wm^{-2} no intervalo de 0 a 0,3V e um ajuste em

relação ao sensor-padrão no intervalo de 0,3 a 5,0V, tendo em vista que coeficiente linear se aproxima de zero e o coeficiente angular se aproxima de 1, como mostrado nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

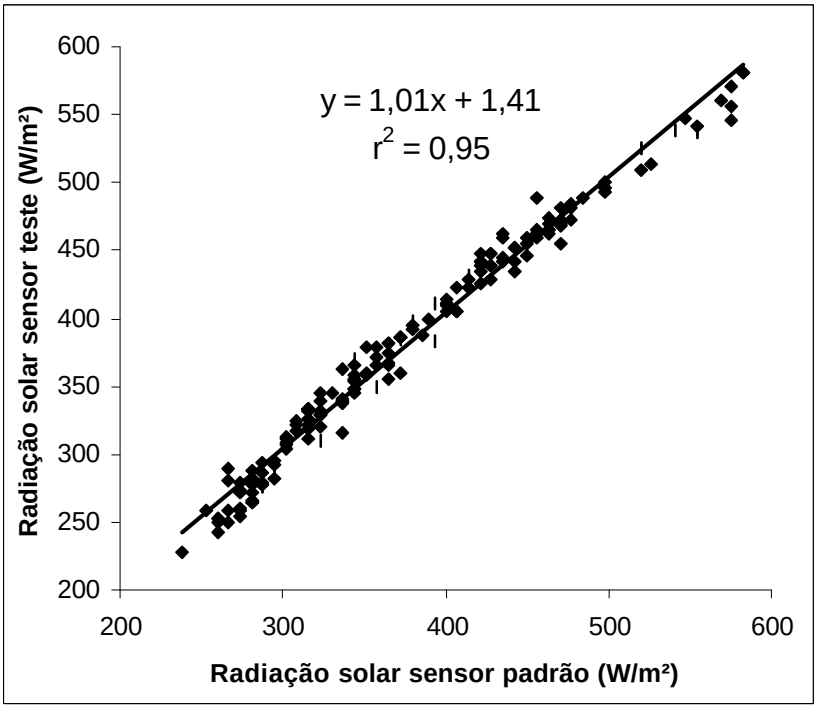

Figura 28 – Ajuste do transistor 2N3055 no intervalo de 0 a 0,3V, com valores de radiação solar medido e estimado.

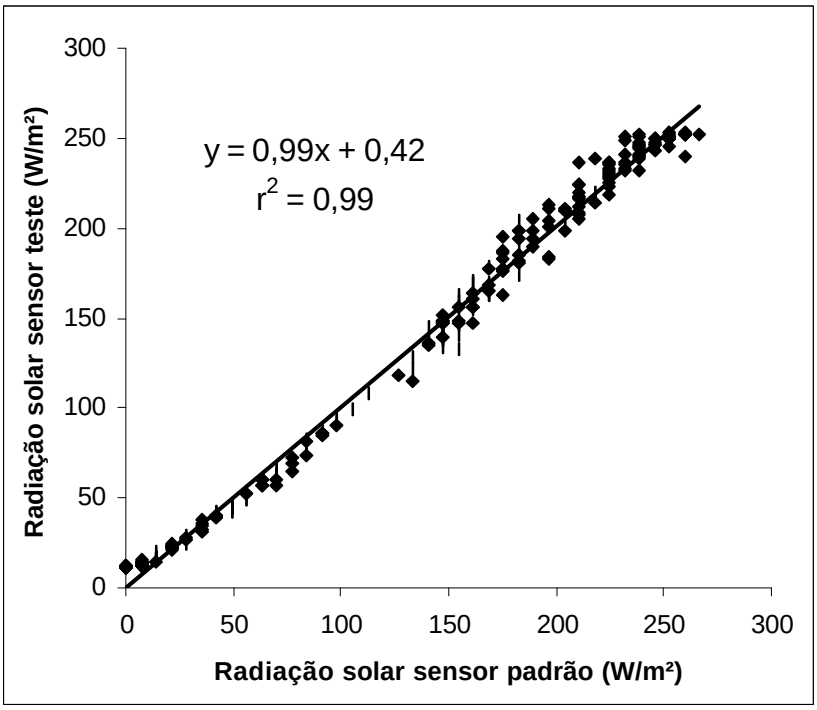

Figura 29 – Ajuste do transistor 2N3055 no intervalo de 0,3 a 5,0V, com valores de radiação solar medido e estimado.

4.4 – Custo final

Verificou-se que o custo do abrigo de sensores e dos sensores-testes de temperatura, umidade relativa e radiação solar (Quadros 1, 2 e 3) mostrou-se inferior ao do sensor comercial. Observou-se que os sensores-teste podem ser utilizados para medição dos elementos climáticos em estações meteorológicas automáticas, considerando sempre a equação de calibração de referência.

Quadro 1 – Custo total dos sensores-teste de temperatura, umidade relativa, proteção de sensores e abrigo de sensores.

Descrição	Número de Peças	Preço (R$)	
		Unitário	**Total**
Prato Superior	1	1,00	1,00
Prato Intermediário	4	1,00	4,00
Espaçador I	20	0,20	4,00
Espaçador II	4	0,25	1,00
Placa I	1	0,50	0,50
Placa II	1	0,50	0,50
Porca	8	0,05	0,40
Arruela	8	0,10	0,80
Parafuso	4	0,20	0,80
Porca do Termohigrômetro	1	0,10	0,10
Sensor Capacitivo HIH-3610	1	90,00	90,00
Termistor NTC	1	1,50	1,50
Cápsula Porosa	1	3,00	3,00
Corpo e Porca Fixadora	1	1,00	1,00
Tinta Branca	1	3,90	3,90
Total Parcial em Real			112,50
Total Convertido em Dólar (1US$ = R$2,85)			**39,47**

Quadro 2 – Custo total dos sensores-teste de temperatura, umidade relativa, radiação solar proteção de sensores e abrigo de sensores.

Sensores Teste	Preço R$
Termistor NTC	1,50
HIH-3610	90,00
2N3055	5,00
Encapsulamento (termohogrômetro)	4,00
Abrigo de sensores	17,00
Total em Real	117,50
Total Convertido em Dólar (1US$ = R$2,85)	**41,23**

Quadro 3 – Custo total dos sensores-padrão de temperatura, umidade relativa, radiação solar e abrigo de sensores

Sensores Comerciais	**Preço US$**
Temperatura Vaisala	
Umidade Relativa Vaisala	860,00
Radiação Solar LiCor	820,00
Abrigo de sensores METOS	380,00
Total Parcial em Dólar	2060,00
Total Convertido em Real (1US$ = R$2,85)	**5871,00**

4.5 – Comparação dos sensores padrão e teste

No Quadro 4, têm-se os valores das especificações técnicas dos sensores-padrão e teste de temperatura, umidade relativa e radiação solar.

Quadro 4 – Comparação das especificações técnicas dos sensores-padrão e sensores-teste de temperatura, umidade relativa e radiação solar.

	Temperatura		**Umidade relativa**		**Radiação solar**	
Sensores	**Padrão**	**Teste**	**Padrão**	**Teste**	**Padrão**	**Teste**
Tensão de alimentação (V)	7~28	5	7~28	5	-	5
Faixa de indicação	(-10 a 60 °C)	(-6 a 44 °C)	(10 a 90 %)	(0 a 90 %)	(0 a 1300 W/m²)	(0 a 1300 W/m²)
Precisão	0,8 °C	0,36 °C	5%	4,90%	10%	1,41 W/m²
Consumo (mA)	2	0,5	2	0,2	-	0,5

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Considerando a importância da disponibilidade de informações meteorológicas na agricultura moderna, desenvolveu-se o presente trabalho, com objetivo de estudar sensores alternativos de temperatura, umidade relativa e radiação solar, a fim de diminuir o custo de implantação e manutenção de estações meteorológicas automáticas.

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, onde foram avaliados sensores alternativos comparativamente com sensores-padrão de temperatura, umidade relativa e radiação solar. Também foi desenvolvido e avaliado um abrigo meteorológico para os sensores de temperatura e umidade relativa.

Foram testados os sensores de temperatura do termistor tipo coeficiente de temperatura negativo (NTC) de 10 KΩ e constante do material de 4.000 K, de radiação global incidente do tipo transistor 2N3055 (Toshiba e SID), bem como o sensor capacitivo HIH-3610 (Honeywell) para umidade relativa.

Os resultados indicaram a viabilidade de uso dos sensores alternativos na estação meteorológica para reduzir custos e permitiram as seguintes conclusões:

- O termistor coeficiente de temperatura negativo (NTC) teve um desempenho satisfatório tanto em abrigo de alumínio quanto de polietileno (comercial).
- O sensor de umidade relativa capacitivo HIH-3610, apresentou um erro de 4,9% em abrigo de polietileno e outro de 2,31 % no abrigo de alumínio, estando ambos os valores na faixa de erro descrita pelo fabricante.
- O transistor 2N3055 para o intervalo de 1300 a 265Wm^{-2} teve um erro de 0,42Wm^{-2} e para o intervalo de 265 a 0Wm^{-2}, de 1,41Wm^{-2}.
- O custo do abrigo de sensor e sensores-teste é muito inferior ao do produto comercial, correspondendo a aproximadamente 3,7%.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, A. **Instrumentação, Eletrônica Analógica e Digital**. Rio de Janeiro RJ, 2002, 360p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1995. 596p.

BLAIR, T. A.; FITE, R. C. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: USAID, 1964. cap. 3, p. 81.

BOLTON, W. **Instrumentação e controle**, São Paulo: Hemus, 1988. cap.2, p.25-149.

CHANG, J. **Climate and agriculture**. 2 ed. Chicago: Aldine Publishing Company, 1971. 296p.

CIPELLI, A. M. V.; MARKUS, O.; SANDRINI, W. **Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos**. São Paulo SP, 2001, 450p.

FARIA, M. A. **Simpósio de Manejo de Irrigação**. Poços de caldas, MG, 1998. 652p.

FERREIRA, E. C. **Sensores e Condicionamento de Sinais**. Universidade de Campinas, São Paulo SP, Departamento de Eletrônica e Microeletrônica, 2002. 111p.

FRADEN, J. **Handbook of modern sensors (physics, designs and applications)**. San Diego California, 1996, 556p.

GONZALES, A. M. P. **Determinação de Umidade Relativa Média Diária do Ar Através de Uma Única Leitura Psicrométrica.** Piracicaba SP: ESALQ, 1984. 80p. Tese (Mestrado)

GÜTHS, S.; De PAULO, V. **Instrumentação em Ciências Térmicas**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 1998. 36p.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação, Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição**. Rio de Janeiro RJ, 1994. 324p.

HONEYWELL **Sensing and control.** 11 West Spring Street, Freeport Illinois 61032, USA, www.honeywell.com/sensing.

HUBAND, N. D. S.; King, S. C.; HUXLEY, M. W.; BUTLER, D. R. **The Performance of a Thermometer Screen on an Automatic Weather Station**. Agricultural and Forest Meteorology. n.33, p.249-258, 1984.

LEY, T. W.; HILL, R. W.; JENSEN, D. T. **Errors in Penman-Wright Alfafa Reference Evapotranspiration Estimates: I. Model Sensitivity Analisys**. Transaction of ASAE, V37, n.6, p.1853-1861, 1994a.

LEY, T. W.; HILL, R. W.; JENSEN, D. T. **Errors in Penman-Wright Alfafa Reference Evapotranspiration Estimates: II. Effects of Weather Sensor Measurement Variability**. Transaction of ASAE, V37, n.6, p.1863-1870, 1994b.

LIOU, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. New York: Academic Press, 1980. 384p.

MANTOVANI, E. C. **Gerenciamento e manejo da irrigação**. In: CURSO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO DE PROJETOS HIDROAGRÍCOLAS. Módulo 08. Brasília: ABEAS, 1996. 75p.

MELO, J. M. D. **Desenvolvimento de um Sistema para Medir Simultaneamente Radiação Global, Difusa e Direta.** Botucatu SP: UNESP, 1993. 130p. Tese (Doutorado)

MIDDLETON, W. E. **Meteorological Instruments**. Toronto: University of Toronto. 1943, 120p.

MOREIRA, H. M. **Desempenho de métodos de manejo de irrigação para a cultura do tomateiro cultivado em campo e em casa de vegetação.** Viçosa-MG: UFV, 2002. Tese Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H. A.; RUNDEL, P. W. **Plant physiological ecology**, Field methods and instrumentation, London, British Library, 1989, 442p.

PEDRO Jr., M. J.; Camargo, M. B. P.; Macedo, L. A. **Guia para o Observador dos Postos Agrometeorológicos do Instituto Agronômico.** São Paulo SP. Boletim Técnico n. 116, 1987. 59p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia, Fundamentos e aplicações práticas**. Piracicaba SP, 2002, 478p.

REIS, J. C. G.; SIMÕES, A. **Circuitos eletrônicos (discretos e integrados)**. Rio de Janeiro RJ, 1982, 817p.

SILVA JÚNIOR, V. P. **Microcontroladores PIC: Teoria e prática**. São Paulo: 1997 140 p.

SILVERTHORNE, S. V.; WATSON, C. W.; BAXTER, R. D. **Characterization of a Humidity Sensor that Incorporates a CMOS Capacitance Measuring Circuit**. Sensors an Actuators, USA, 1989, V.19, p.371-383.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia (INMET)**. Brasília DF, 2000, 515p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Imprensa Universitária, Viçosa, Minas Gerais, 1991.

VILIOTTI, C. A. **Desenvolvimento de um sistema eletrônico para detecção da presença de plantas daninhas e controle da aplicação de herbicidas.** Viçosa: UFV, 2002. 52p. Tese (Doutorado)

APÊNDICE A

Algorítimo em “C” usado para o sistema de aquisição de dados CbCom para coleta a cada 1 minuto.

```
#include <string.h>
#include <ctype.h>
#include "DataHora.hpp"
#include "LeModulo.hpp"

int main(void){
      int iPort,iChksum;
      char cEndMod[3],cNomeArq[20];
      long int lBaudRate;
      unsigned int uiK1;
      unsigned int uiK2;
      float fDados[4][8],fValor;
      FILE *fArqDados;


      LeModulo modA,modB;
      DataHora DH;


      clrscr();
      printf("Configuracoes do Modulo AI_7017");
      printf("\nSelecione a porta serial a ser utilizada");
      printf("\nOpcoes (1/2/3/4) =>");
      scanf("%d",&iPort);
      printf("\n\nSelecione Taxa tranferencia binaria (Baud Rate)");
      printf("\nOpcoes
(1200/2400/4800/9600/19200/38400/57600/115200) =>");
      scanf("%ld",&lBaudRate);
      printf("\nSelecione checagem de erros (checksun)");
      printf("\nOpcoes (0=Destativar 1=Ativar)=");
      scanf("%d",&iChksum);
      printf("\nInforme o Endereco do modulo AI_7017 (Hex)");
      printf("\nOpcoes (00 a FF)");
      scanf("%s",cEndMod);
      modA.ConfigModulo(iPort,lBaudRate,iChksum,cEndMod);
      if(!modA.AbrirCom()){
            printf("\n\n\n Nao consegui conexao \n\n\n");
            exit(0);
      };

      clrscr();
      printf("Configuracoes do Modulo AI_7018");
      printf("\nSelecione a porta serial a ser utilizada");
      printf("\nOpcoes (1/2/3/4) =>");
      scanf("%d",&iPort);
      printf("\n\nSelecione Taxa tranferencia binaria (Baud Rate)");
      printf("\nOpcoes
(1200/2400/4800/9600/19200/38400/57600/115200) =>");
      scanf("%ld",&lBaudRate);
      printf("\nSelecione checagem de erros (checksun)");
      printf("\nOpcoes (0=Destativar 1=Ativar)=");
      scanf("%d",&iChksum);
```

```
      printf("\nInforme o Endereco do modulo AI_7018 (Hex)");
      printf("\nOpcoes (00 a FF)");
      scanf("%s",cEndMod);
      modB.ConfigModulo(iPort,lBaudRate,iChksum,cEndMod);

      if(!modB.AbrirCom()){
            printf("\n\n\n Nao consegui conexao \n\n\n");
            exit(0);
      };


      for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
            fDados[0][uiK1] = 0.0; //armazena o valor para 7017
            fDados[1][uiK1] = 0.0; //armazena o numero de vezes
lidos para media
            fDados[2][uiK1] = 0.0; //armazena o valor para 7018
            fDados[3][uiK1] = 0.0; //armazena o numero de vezes
lidos para media
      }



      do{
            while(!kbhit()){
                  DH.Atualizar();
                  //A cada segundo mostra na tela
                  if(DH.MudouSeg()){
                        clrscr();
                        printf("Sistema de aquisicao de dados");
                        printf("\n1 Data/Hora Atual: %s
",DH.GDMA());
                        printf(" %s",DH.GHMS());

                        printf("\n2 Variaveis medidas");
                        printf("\n\n2.1 Lendo canais Analogicos
7017");
                        for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
                              modA.LeCanal(uiK1,&fValor);
                                    //Armazena na matriz
                                    //somente acima do 45 segundos
para pegar 15 pontos
                                    if(DH.GSeg() >= 0){
                                          fDados[0][uiK1]
+=fValor;//fValor;
                                          fDados[1][uiK1]++;
                                    }
                                    printf("\n  Resposta canal %d =
%1.2f",uiK1,fValor);
                        }//fim for
                        printf("\n\n2.2 Lendo canais Analogicos
7018");
                        for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
                              modB.LeCanal(uiK1,&fValor);
                                    //Armazena na matriz
                                    //somente acima do 45 segundos
para pegar 15 pontos
                                    if(DH.GSeg() >= 0){
                                          fDados[2][uiK1]
+=fValor;//fValor;
                                          fDados[3][uiK1]++;
                                    }
```

```
                                    printf("\n  Resposta canal %d =
%1.2f",uiK1,fValor);
                        }//fim for
                        printf("\n\n\nPrecione S para sair.");
                  }//fim if tempo seg
                  //A cada minuto armazena no arquivo
                  if(DH.MudouMin()){
                        strcpy(cNomeArq,".\\Dados\\");
                        strcat(cNomeArq,DH.NomeArq());
                        printf("\n\n3 Salvando dados no arquivo
\"%s\"",cNomeArq);
                        if((fArqDados=fopen(cNomeArq,"a+")) ==
NULL){
                              printf("\n\n\nErro ao abrir
arquivo.\n\n\n");
                              exit(1);
                        }
                        fprintf(fArqDados,"\n%s ",DH.GDMA());
                        fprintf(fArqDados,"%s ",DH.GHMS());
                        for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
                              fprintf(fArqDados,"%1.2f
",fDados[0][uiK1]/fDados[1][uiK1]);
                              fDados[0][uiK1] = 0.0; //armazena o
valor 7017
                              fDados[1][uiK1] = 0.0; //armazena o
numero de vezes lidos para media
                        }
                        for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
                              fprintf(fArqDados,"%1.2f
",fDados[2][uiK1]/fDados[3][uiK1]);
                              fDados[2][uiK1] = 0.0; //armazena o
valor 7018
                              fDados[3][uiK1] = 0.0; //armazena o
numero de vezes lidos para media
                        }
                        fclose(fArqDados);
                  }//fim if tempo min
            }//fim while
      }while(toupper(getch())!='S');//fim do
      modA.FecharCom();
      modB.FecharCom();
      return 1;}
```

APÊNDICE B

Algorítimo em “C” usado para o sistema de aquisição de dados CbCom para coleta a cada 1 segundo.

```
#include <string.h>
#include <ctype.h>
#include "Serial.hpp"

void HexToBin(unsigned int uiHex, char *cBit);

int main(void){
      int iRet,iPort,iChksum;
      char cEndMod[3],cEndMod2[3];
      long int lBaudRate;
      unsigned int uiK1,uiK2;
      char cSend[50],cRec[50],cDI[5],cBit[9],cTemp[2],cValor[50];
      float fDados[2][8], fDados2[2][9],fValor;
      struct dostime_t sTempo;
      struct dosdate_t sData;
      unsigned int
uiDia,uiMes,uiAno,uiHora,uiMin,uiSeg,uiMinAnt=0,uiSegAnt=0;
      FILE *fFile;
      Serial PortaSerial;

      clrscr();
      printf("Configuracoes");
      printf("\nSelecione a porta serial a ser utilizada");
      printf("\nOpcoes (1/2/3/4) =>");
      scanf("%d",&iPort);
      printf("\nSelecione Taxa tranferencia binaria (Baud Rate)");
      printf("\nOpcoes
(1200/2400/4800/9600/19200/38400/57600/115200) =>");
      scanf("%ld",&lBaudRate);
      printf("\nSelecione checagem de erros (checksun)");
      printf("\nOpcoes (0=Destativar 1=Ativar)=>");
      scanf("%d",&iChksum);
      printf("\nInforme o endereco do modulo AI_7017 (Hex)");
      printf("\nOpcoes (00 a FF)=>");
      scanf("%s",cEndMod);
      printf("\nInforme o endereco do modulo AI_7018 (Hex)");
      printf("\nOpcoes (00 a FF)=>");
      scanf("%s",cEndMod2);

      iRet= PortaSerial.Open(iPort,lBaudRate);
      if(iRet==0){
            printf("\nPort is OK");
      }else if(iRet==1){
            printf("\nPort %d with ERROR",iPort);
            return 1;
      }else if(iRet==2){
            printf("\nBaud Rate %l with ERROR",lBaudRate);
            return 2;
      }

      if((fFile=fopen("AI_7000.txt", "w")) == NULL){
            fprintf(stderr, "\n\n\nErro ao abrir arquivo.\n\n\n");
```

```
            exit(1);
      }
      for(uiK2=0;uiK2<8;uiK2++){
            fDados[0][uiK2] = 0.0;
            fDados[1][uiK2] = 1.0;
      }
      for(uiK2=0;uiK2<9;uiK2++){
            fDados2[0][uiK2] = 0.0;
            fDados2[1][uiK2] = 1.0;
      }

      do{
            while(!kbhit()){
                  _dos_getdate(&sData);
                  _dos_gettime(&sTempo);
                  uiDia = sData.day;
                  uiMes = sData.month;
                  uiAno = sData.year;
                  uiHora =  sTempo.hour;
                  uiMin  =  sTempo.minute;
                  uiSeg  =  sTempo.second;
                  //No proximo minuto armazena em arquivo
                  //* = Media dos valores armazenados no ultimo
minuto
             /*         if(uiMin != uiMinAnt){
                        uiMinAnt = uiMin;
                        fprintf(fFile,"\n* %02d/%02d/%02d
%02d:%02d:%02d ",uiDia,uiMes,uiAno,uiHora,uiMin,uiSeg);
                        //Armazena do 7017
                        for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
                              fprintf(fFile,"%5.5f
",(fDados[0][uiK1]/fDados[1][uiK1]));
                              fDados[0][uiK1] = 0.0;
                              fDados[1][uiK1] = 0.0;
                        }
                        fprintf(fFile," # ");
                        //Armazena o 7018
                        for(uiK1=0;uiK1<9;uiK1++){
                              fprintf(fFile,"%5.5f
",(fDados2[0][uiK1]/fDados2[1][uiK1]));
                              fDados2[0][uiK1] = 0.0;
                              fDados2[1][uiK1] = 0.0;
                        }
                  }//fim minuto
             */
                  //A cada segundo mostra na tela e armazena no
arquivo
                  if(uiSeg != uiSegAnt){
                        uiSegAnt = uiSeg;
                        clrscr();
                        printf("Data/Hora Atual: %02d/%02d/%02d
%02d:%02d:%02d ",uiDia,uiMes,uiAno,uiHora,uiMin,uiSeg);
                        fprintf(fFile,"\n%02d/%02d/%02d
%02d:%02d:%02d ",uiDia,uiMes,uiAno,uiHora,uiMin,uiSeg);

                        printf("\n1 Configuracao utilizada");
                        printf("\n  Porta serial / Baud Rate /
Checagem de erro  /  End. AI_7017 / End. AI_7018");
                        printf("\n  %d / %ld / %d / %s /
%s",iPort,lBaudRate,iChksum,cEndMod,cEndMod2);
```

```
                        printf("\n2.1 Lendo canais Analogicos do
modulo 7017");
                        for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
                              strcpy(cSend,"#");
                              strcat(cSend,cEndMod);
                              itoa(uiK1,cTemp,10);
                              strcat(cSend,cTemp);
                              PortaSerial.Send(iPort,
cSend,TIMEOUT,iChksum);
                              iRet=PortaSerial.Receive(iPort, cRec,
TIMEOUT, iChksum);
                              if(iRet==0){
                                    //Prepara para transf em float
                                    strcpy(cValor,"0");

      for(uiK2=1;uiK2<strlen(cRec);uiK2++){
                                          cValor[uiK2-1]=cRec[uiK2];
                                    }
                                    fValor = atof(cValor);

                                    //Armazena na matriz
                                    //somente acima do 45 segundos
para pegar 15 pontos
                                    if(uiSeg >= 0){
                                          fDados[0][uiK1] += fValor;
                                          fDados[1][uiK1]++;
                                    }
                                    printf("\n  Resposta canal %d =
%1.2f",uiK1,fValor);
                                    fprintf(fFile,"%1.2f ",fValor);

                              }else if(iRet==1){
                                    printf("\nReceive = port value
error (must 1/2/3/4)");
                              }else if(iRet==2){
                                    printf("\nReceive = Timeout
full");
                              }else if (iRet==3){
                                    printf("\nReceive = Error bit
tranfer");
                              }
                        }

                        fprintf(fFile," # ");

                        printf("\n2.2 Lendo canais Analogicos do
modulo 7018");
                        for(uiK1=0;uiK1<9;uiK1++){
                              if(uiK1==8){
                                    //Lendo CJC
                                    strcpy(cSend,"$");
                                    strcat(cSend,cEndMod2);
                                    strcat(cSend,"3");
                              }else{
                                    strcpy(cSend,"#");
                                    strcat(cSend,cEndMod2);
                                    itoa(uiK1,cTemp,10);
                                    strcat(cSend,cTemp);
                              }
                              PortaSerial.Send(iPort,
cSend,TIMEOUT,iChksum);
```

```
                              iRet=PortaSerial.Receive(iPort, cRec,
TIMEOUT, iChksum);
                              if(iRet==0){
                                    //Prepara para transf em float
                                    strcpy(cValor,"0");

      for(uiK2=1;uiK2<strlen(cRec);uiK2++){
                                          cValor[uiK2-1]=cRec[uiK2];
                                    }
                                    fValor = atof(cValor);

                                    //Armazena na matriz
                                    //somente acima do 45 segundos
para pegar 15 pontos
                                    if(uiSeg >= 0){
                                          fDados2[0][uiK1] += fValor;
                                          fDados2[1][uiK1]++;
                                    }

                                    if(uiK1==8){
                                          printf("\n  Valor CJC =
%1.2f",fValor);
                                    }else{
                                          printf("\n  Resposta canal
%d = %1.2f",uiK1,fValor);
                                    }
                                    fprintf(fFile,"%1.2f ",fValor);

                              }else if(iRet==1){
                                    printf("\nReceive = port value
error (must 1/2/3/4)");
                              }else if(iRet==2){
                                    printf("\nReceive = Timeout
full");
                              }else if (iRet==3){
                                    printf("\nReceive = Error bit
tranfer");
                              }
                        }
                  printf("\n\nPressione S para sair=>");
                  }//fim if tempo
            }//fim while kbhit
      }while(toupper(getch())!='S');
      fclose(fFile);
      PortaSerial.Close(iPort);
      return 0;
}
// ------------------------------------------------------------------
------
// -------------------- Fim Function main -------------------------
------
// ------------------------------------------------------------------
------

void HexToBin(unsigned int uiHex, char *cBit){
      char cCar;
      unsigned int uiK1,uiBitMovel;
      strcpy(cBit,"");
      for(uiK1=0;uiK1<8;uiK1++){
            uiBitMovel = 1 << uiK1;
```

```
            if((uiHex & uiBitMovel)==0x0){
                  strcat(cBit,"0");
            }else{
                  strcat(cBit,"1");
            }
      }
      for(uiK1=0;uiK1<4;uiK1++){
       cCar=cBit[uiK1];
       cBit[uiK1]=cBit[7-uiK1];
       cBit[7-uiK1]=cCar;
      }
}
```

APÊNDICE C

Biblioteca em algorítimo “C” para sistema de aquisição de dados CbCom usados para a coleta de dados a cada 1 minuto e 1 segundos.

```
#include   <stdio.h>
#include   <stdlib.h>
#include   <math.h>
#include   <conio.h>
#include   <io.h>
#include   <dos.h>
#include   <stdarg.h>
#include   <string.h>

#define Com1        0x3f0
#define Com2        0x2f0
#define Com3        0x3e0
#define Com4        0x2e0

#define Txbuf       0x08   // tx buffer
#define Rxbuf       0x08   // rx buffer
#define Dll     0x08       // baud lsb
#define Dlh     0x09       // baud msb
#define Ier     0x09       // int enable reg
#define Fcr     0x0a       // FIFO control register
#define Lcr     0x0b       // line control reg
#define Dfr     0x0b       // Data format  reg
#define Mcr     0x0c       // modem control reg
#define Lsr     0x0d       // line status reg
#define       TIMEOUT  60000L

int OPEN_COM(int iPort, long int lBaudRate);
int CLOSE_COM(int iPort);
int SEND_CMD(int iPort, char cCmd[], long int lTimeout, int iChksum);
int RECEIVE_CMD(int iPort, char cCmd[], long int lTimeout, int iChksum);
char hex_to_ascii(int iHex);
int chk_chksum(char cBuf[]);
void compute_chksum(char cBuf[]);

int  iBase;             // com port base address
char cHI,cLO;
void compute_chksum(char cBuf[]);
char hex_to_ascii(int iHex);


// ****************************************************************
// ******************* Function OPEN_COM ****************************
// ****************************************************************
// Input
//    iPort     = 1/2/3/4
```

```
//    lBaudRate = 1200/2400/4800/9600/19200/38400
// return:
//    0 --> OK
//          1 --> port value error
//          2 --> baud rate  error
int OPEN_COM(int iPort, long int lBaudRate){
  int uart,i;
  char ratehi,ratelo;
  long int bb;
  int cc;

  switch(iPort)         {
          case 1 :{ iBase=Com1; break;}
          case 2 :{ iBase=Com2; break;}
          case 3 :{ iBase=Com3; break;}
          case 4 :{ iBase=Com4; break;}
          default:{ printf("Port not valid (1/2/3/4)= %d)",iPort);
                  getch();
                          return 1;                 // port must 1/2/3/4
                        }
        }

  switch(lBaudRate) {
          case 1200L : break;
          case 2400L : break;
          case 4800L : break;
          case 9600L : break;
          case 19200L: break;
          case 38400L: break;
          case 57600L: break;
          case 115200L: break;
          default    :{ printf("baud rate error");
                            return 2;              // baud rate error
                           }
        }

  bb      = 115200L;
  cc      = bb/lBaudRate;
  ratehi  = (cc&0xff00)>>8;
  ratelo  = (cc&0x00ff);

  outportb(iBase+Lcr,0x0080);       // data format line control register
                           // set DLAB
  outportb(iBase+Dll,ratelo);
  outportb(iBase+Dlh,ratehi);

  outportb(iBase+Lcr,0x0003);       // data format line control register
                                // 0000 0011 --> 8_bit+1_stop+no_parity

  outportb(iBase+Ier,0x0000);       // disable interrupt
```

```
  outportb(iBase+Fcr,0x0007);       // clear input/output FIFO

  for (i=0; i<8; i++){
    inportb(iBase+i);   // clear R
  }

  outportb(iBase+Fcr,0x0001);      // enable FIFO
  return 0;
}
// ---------------------------------------------------------------------
// -------------------- fim OPEN_COM -------------------------------------
// ---------------------------------------------------------------------

// *******************************************************************
// ******************* Function CLOSE_COM **************************
// *******************************************************************
// Input
//    iPort     = 1/2/3/4
// return:
//    0 --> OK
//          1 --> error
int CLOSE_COM(int iPort){
  // use polling, so do nothing here
  outportb(iBase+Fcr,0x0007);       // clear input/output FIFO
  return 0;
}
// ---------------------------------------------------------------------
// -------------------- fim CLOSE_COM ------------------------------------
// ---------------------------------------------------------------------

// *******************************************************************
// ******************* Function SEND_CMD ***************************
// *******************************************************************
// Input:
//    iPort = 1/2/3/4
//    cCmd  = String with comand for modules
//    lTimeout  = value lTimeout
//    iChksum  = 0 is DISABLE, others is ENABLE
// return:
//    0 --> OK
//    1 --> port value error
//    2 --> timeout
int SEND_CMD(int iPort, char cCmd[], long int lTimeout, int iChksum){
  int i,ret;
  long t;

  switch(iPort)         {
          case 1 : iBase=Com1; break;
          case 2 : iBase=Com2; break;
          case 3 : iBase=Com3; break;
```

```
            case 4 : iBase=Com4; break;
            default: return 1;            // port must 1/2/3/4
          }

  compute_chksum(cCmd);                          // add chksum and 0x0d to
input

  i=0; t=0;
  while (cCmd[i]!= NULL){
    while((inportb(iBase+Lsr)&0x0020)== 0x0000){      // check line ready
          t++;
          if (t>lTimeout){
            return 2;      // time out
          }
            }
    outportb(iBase+Txbuf,cCmd[i]);
    i++;                                  // next char
    t=0;                                  // reset timer
  }

  if (iChksum!=0){
    while((inportb(iBase+Lsr)&0x20)==0){          // check line ready
          t++;
          if(t>lTimeout){
            return 2;      // time out
          }
            }
    outportb(iBase+Txbuf,cHI);                // send out checksum HIGH byte
    t=0;                                  // reset timer
    while((inportb(iBase+Lsr)&0x20)==0){ // check line ready
          t++;
          if(t>lTimeout){
            return 2;      // time out
          }
            }
    outportb(iBase+Txbuf,cLO);                // send out checksum LOW byte
    t=0;                                  // reset timer
  }

  while((inportb(iBase+Lsr)&0x20)==0){  // check line ready
    t++;
    if(t>lTimeout){
      return 2;  // time out
    }
  }

  outportb(iBase+Txbuf,0x0D);                 // send out 0x0D
  return 0;                               // send cmd OK
}
// ----------------------------------------------------------------------
```

```
// -------------------- fim SEND_COM -----------------------------------
// ------------------------------------------------------------------


// ******************************************************************
// ******************* Function RECEIVE_CMD *************************
// ******************************************************************
// Input:
//    iPort = 1/2/3/4
//    cCmd  = String with comand for modules
//    lTimeout  = value lTimeout
//    iChksum  = 0 is DISABLE, others is ENABLE
// return:
// 0 --> OK
// 1 --> port value error
// 2 --> timeout
// 3 --> chksum error
int RECEIVE_CMD(int iPort, char cCmd[], long int lTimeout, int iChksum){
  int i;
  char c;
  long t;

  switch(iPort)         {
            case 1 : iBase=Com1; break;
            case 2 : iBase=Com2; break;
            case 3 : iBase=Com3; break;
            case 4 : iBase=Com4; break;
            default: return 1;             // port must 1/2/3/4
          }

  i=0; t=0;
  for(;;){
    while((inportb(iBase+Lsr)&0x01) != 0x01){   // check line ready
          t++;
          if(t>lTimeout){
            return 2;        // time_out
          }
            }
    c = (inportb(iBase+Rxbuf)&0xff);        // receive next char
    if (c==0x0d){
      break;               // receive 0x0d --> end of command
    }else{
      cCmd[i]=c;                  // store the command
    }
    i++;                          // next char
    if (i>35){
      cCmd[i]=0;                          // string must terminate with 0
      printf("[%s]\7\7\7",cCmd);
      break;
    }
```

```
    t=0;                          // reset timer
  }
  cCmd[i]=0;                      // string must terminate with 0

  if (iChksum!=0){
    return chk_chksum(cCmd);
  }else{
    return 0;
  }
}
// ---------------------------------------------------------------------
// -------------------- fim RECEIVE_CMD ---------------------------------
// ---------------------------------------------------------------------

// *********************************************************************
// ******************* Function compute_chksum **********************
// *********************************************************************
// Input:
//    cBuf  = String with buffer
// return:
//    void
void compute_chksum(char cBuf[]){
  unsigned int i,j,len,sum;

  len=strlen(cBuf);
  sum=0;
  for (i=0; i<len; i++){
    sum+=(cBuf[i]&0xff);      // 0x0D not included
  }
  sum=sum&0xff;
  cHI=hex_to_ascii(sum/16); // CHKSUM high byte
  cLO=hex_to_ascii(sum%16); // CHKSUM low  byte
}
// ---------------------------------------------------------------------
// -------------------- fim compute_chksum ------------------------------
// ---------------------------------------------------------------------


// *********************************************************************
// ******************* Function hex_to_ascii ************************
// *********************************************************************
// Input:
//    iHex  = value Hexadecimal
// return:
//    char = value change for char
char hex_to_ascii(int iHex){
  if (iHex<10){
    return(iHex+'0');
  }else{
```

```
    return('A'+iHex-10);
  }
}
// ---------------------------------------------------------------------
// -------------------- fim hex_to_ascii --------------------------------
// ---------------------------------------------------------------------

// ******************************************************************
// ******************* Function chk_chksum *************************
// ******************************************************************
// Input:
//    cBuf  = char with buffer
// return:
//  3 --> chksum error
//        0 --> OK
int chk_chksum(char cBuf[]){
  unsigned int i,len,sum;
  char h,l;

  len=strlen(cBuf);
  sum=0;
  for (i=0; i<len-2; i++){
    sum+=(cBuf[i])&0xff;
  }
  sum=sum&0xff;
  h=hex_to_ascii(sum/16);
  l=hex_to_ascii(sum%16);

  if (cBuf[len-2]!=h){
    return 3;    // compare CHECKSUM high byte
  }
  if (cBuf[len-1]!=l){
    return 3;    // compare CHECKSUM low  byte
  }
  return 0;
}
// ---------------------------------------------------------------------
// -------------------- fim chk_chksum ----------------------------------
// ---------------------------------------------------------------------
```

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo