
DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Gustavo Finholdt¹, Everardo Chartuni Mantovani², Gilberto Chohaku Sedyama³, Márcio Mota Ramos⁴, Gustavo Haddad Souza Vieira⁵

RESUMO

Neste trabalho teve-se como objetivo o desenvolvimento de uma estação meteorológica automática com tecnologia nacional para manejo de irrigação. Ela foi constituída pelos cinco sensores utilizados na metodologia de cálculo do balanço hídrico, em que dois parâmetros importantes são a precipitação pluviométrica e a ETo. Desenvolveu-se o equipamento com display para visualização dos dados de dias anteriores, memória para armazenar dados de até um ano em base horária, porta de comunicação de dados com microcomputador via protocolo RS-232, programa de microcomputador para efetuar a aquisição e visualização dos dados e painel solar para carregar a bateria da estação. Após o desenvolvimento do equipamento, realizou-se a calibração dos sensores, com base em metodologias recomendadas pela WMO, atingindo um índice de correlação (r) de 1,000, 0,998, 0,999, 0,997 e 1,000, para os sensores de vento, chuva, umidade relativa, irradiância solar e temperatura, respectivamente. O desenvolvimento do equipamento atendeu aos objetivos da autossuficiência energética; manipulação dos dados com e sem o uso de um microcomputador; simplicidade no uso; facilidade na manutenção; e boa correlação na resposta de seus sensores. Dessa forma, conclui-se que o equipamento desenvolvido atende aos requisitos técnicos e operacionais para sua utilização na agricultura. Porém, sendo um protótipo, ele ainda não constitui uma substituição imediata para os equipamentos similares existentes no mercado, faltando, para isso, testes em laboratórios de metrologia acreditados nacional e internacionalmente que certifiquem seu funcionamento.

Palavras-chave: estação meteorológica automática, irrigação, tecnologia nacional.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC METEOROLOGICAL STATION FOR IRRIGATION MANAGEMENT

An automatic meteorological station with indigenous technology was developed for irrigation scheduling. The station is composed of five sensors, normally used to calculate hydric balance in which rainfall and ETo are two major computation parameters. The equipment has a display to visualize data of earlier days, memory to store one year data on hourly basis, data communication port to microcomputer via RS-232 protocol, computer software to collect and visualize data and a solar panel for battery charging. The sensor was calibrated according to the recommendation of WMO. The correlation indexes (r) was 1.000, 0.998, 0.999, 0.997 and 1.000, respectively for wind, rain, air humidity, solar radiation and temperature respectively. The equipment attained the objectives of energy self-sufficiency, data manipulation with or without a microcomputer, use simplicity, easy maintenance and high correlation of sensor's response. It was concluded that the equipment satisfies the technical and operational requirements for use in agriculture. Being a prototype, it is not yet available for immediate substitution of the similar equipments on market, because it requires tests in the national and international accredited meteorology laboratories to certify its correct operation.

Keywords: automatic meteorological station, irrigation, national technology.

Recebido para publicação em 28/07/2008. Aprovado em 08/10/2010.

1- Eng. Eletricista, M.Sc. Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, Bolsista Capes, Dep. Eng. Agrícola, UFV, Viçosa-MG, e-mail: gusend@gmail.com

2- Engenheiro Agrícola, Prof. Titular da UFV, DEA, Viçosa, MG, e-mail: everardo@ufv.br

3- Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular da UFV, DEA, Viçosa, MG, e-mail: g.sedyama@ufv.br

4- Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular da UFV, DEA, Viçosa, MG, e-mail: mmramos@ufv.br

5- Doutorando em Engenharia Agrícola/UFV, Viçosa, MG, Bolsista do PIQDTec/CAPES, Prof. do IFES, campus Santa Teresa, ES, e-mail: ghsv2000@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Ainda hoje, o produtor rural adota métodos inadequados de controle de irrigação que acabam por irrigar suas culturas além do necessário por temer baixas na produtividade ocasionadas pelo estresse hídrico das plantas. Esse excesso pode comprometer a produção devido a problemas no sistema radicular e doenças nas plantas, além de acarretar desperdício de energia e de água, causando prejuízos financeiros e ambientais, como a lixiviação de nutrientes e riscos de contaminação de lençóis freáticos (MANTOVANI *et al.*, 2007b).

Nesse contexto, a utilização da irrigação vem evoluindo consideravelmente ao longo dos anos, tanto com relação a seu uso, em termos de área irrigada, quanto ao aspecto tecnológico (MANTOVANI *et al.*, 2006).

Mantovani *et al.* (2007a) afirmaram que mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas. Assim, observa-se que existe a necessidade de um programa de gerenciamento de irrigação que auxilie os produtores a utilizar melhor as técnicas de manejo da irrigação, garantindo elevadas produtividades com o uso racional de água e energia.

Ainda segundo Mantovani *et al.* (2007b), o significado do termo gerenciamento da irrigação é complexo e tem permitido várias interpretações. Portanto, dentro de um conceito de manejo da irrigação, é visto como a implantação de uma série de medidas e procedimentos que visam saber quando e quando irrigar. Em um contexto mais abrangente e atendendo às necessidades e dinâmicas da agricultura atual, o manejo da irrigação deve ser analisado com uma visão mais ampla, que integre outros conhecimentos e respostas, o que tem sido denominado visão integrada. Neste caso, saber quando e quanto irrigar é um processo de tomada de decisão que contempla outros aspectos, como avaliação do sistema de irrigação, preocupação com aspectos fitossanitários e de pragas, nutrição *etc.*, o que se denomina gerenciamento de irrigação. Portanto, para um bom gerenciamento de irrigação, faz-se necessário utilizar técnicas que calculem com exatidão a quantidade de água evapotranspirada. A FAO tem apresentado publicações que buscam a padronização de metodologias de cálculo da

evapotranspiração (DOORENBOS & PRUITT, 1977; ALLEN *et al.*, 1998).

A metodologia do cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), segundo Mantovani e Vicente (2007), é a mais empregada para estimar as necessidades hídricas das culturas. Essa metodologia é dividida em duas etapas: a primeira é a estimativa da evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_o), geralmente determinada por método empírico (ALLEN *et al.*, 1998); e a segunda é conhecida ao multiplicar a ET_o por um coeficiente de cultura (K_c), considerando-se o estágio de desenvolvimento da planta que integra as características da cultura e do clima (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

A metodologia recomendada como padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) é o método FAO (1998). Por meio deste método, calcula-se a ET_o com base em dados meteorológicos, sendo eles: irradiância solar, temperatura do ar, umidade atmosférica e velocidade do vento (ALLEN *et al.*, 1998).

Em todo o mundo há expansão do uso da automação e de computadores na coleta de dados, armazenamento e disseminação da informação, inclusive no uso de Estações Meteorológicas (EFE & ADOGBEJI, 2006). Existem diversos modelos de estações meteorológicas automáticas no mercado que medem e registram os dados dos elementos meteorológicos de interesse. Porém, seu uso é limitado por ser uma tecnologia importada de alto custo de aquisição e manutenção, operacionalidade complexa e pequena disponibilidade de suporte técnico.

O uso das estações meteorológicas automáticas tem aumentado muito nos últimos anos, por sua maior disponibilidade, pela capacidade de armazenamento de dados e pela facilidade de acesso aos dados medidos. Entretanto, sua utilização ainda é restrita, principalmente em função do seu custo, em torno de R\$ 10.000,00 (1,00 US\$ = R\$ 1,58), além dos custos de manutenção e das dificuldades no manuseio e na manutenção.

O maior acesso às estações meteorológicas automáticas permitirá a implantação de programas de gerenciamento de irrigação mais eficientes, reduzindo o consumo de água, energia elétrica, mão de obra, menor ocorrência de doenças em plantas e maior eficiência no uso de produtos fitossanitários. Tais fatores proporcionarão maior rentabilidade pela

otimização dos insumos e, sobretudo, pelo aumento da produtividade, juntamente com a preservação ambiental.

Um sistema eletrônico de aquisição de dados para a mensuração automática de dados meteorológicos tem, principalmente, os objetivos de facilitar as leituras das variáveis meteorológicas e evitar erros de leituras dos equipamentos de medição dessas variáveis. O registro automático dos dados das variáveis meteorológicas facilita o uso dos instrumentos de medições dessas variáveis por permitir que o usuário não tenha que fazer leituras rotineiras, pelo fato de os instrumentos mensurarem e registrarem automaticamente os dados. Dessa forma, é de grande importância o uso de sistema de aquisição de dados interligado a sensores específicos para realizar a leitura das variáveis meteorológicas do ambiente em que se encontra.

Uma estação meteorológica automática é um sistema autônomo de mensuração e registro dos dados de fenômenos meteorológicos. Conforme mencionado, os sensores usados para calcular a evapotranspiração com base na metodologia FAO são: anemômetro, higrômetro, piranômetro e termômetro. Os dados provenientes de sensores são a base para o monitoramento e o controle da maioria dos processos industriais (HALLIDAY et al., 1996; SEDRA & SMITH, 2000). Thomazini e Albuquerque (2007) definem sensor como um dispositivo sensível a alguma forma de energia, relacionando-a com uma grandeza física.

As grandezas físicas (irradiância solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar, entre outras) registradas em sistemas de aquisição de dados são inerentes a alguns fenômenos físicos, e, em geral, sua natureza é analógica. Tocci e Widmer (2000) afirmam que uma variável analógica assume valores contínuos e reais, diferentemente dos sinais digitais, que são descontínuos e expressos em uma representação binária. As grandezas analógicas podem ser obtidas por meio de sensores eletrônicos. Assim, um sensor eletrônico (estado sólido) é um dispositivo que cria um campo elétrico, induz uma tensão ou uma corrente e reage a qualquer alteração desse campo elétrico (ORDONEZ et al., 2005).

Geralmente, os sensores analógicos não possuem características elétricas compatíveis com o sistema de aquisição de dados, sendo necessário condicionar o sinal do sensor antes de efetuar a leitura. O

condicionamento dos sinais na eletrônica é feito com circuitos denominados condicionadores de sinais. Esse tipo de circuito ajusta o sinal recebido do sensor para a faixa de medição em que o sistema de aquisição de dados está preparado para efetuar a mensuração.

Um dos condicionadores de sinais mais comuns, de acordo com Boylestad e Nashelsky (1998), é o multiplicador de ganho constante, também conhecido como amplificador não inversor. A exatidão do seu ganho (amplificação) depende da tolerância dos resistores que forem acoplados ao circuito. Ou seja, se a tolerância dos resistores for pequena, a exatidão do circuito será grande, sendo inversamente proporcional. Esse circuito é basicamente composto por um amplificador operacional e dois resistores.

Outro circuito importante para esse trabalho é o condicionador de sinais denominado fonte controlada. Útil em vários dispositivos de instrumentação, o condicionador de sinais “fonte controlada” tem quatro configurações básicas, sendo utilizada nesse trabalho a fonte de tensão controlada a corrente (BOYLESTAD & NASHELSKY, 1998). A tensão de saída de um condicionador de sinais desse tipo depende da corrente de entrada. Seu circuito utiliza um amplificador operacional, um resistor e dois capacitores.

Depois de passar pelo condicionador de sinais, o sinal do sensor analógico é enviado para um conversor A/D. A conversão do sinal analógico é realizada por um dispositivo denominado conversor analógico-digital. Esse dispositivo produz um sinal digital que representa um sinal analógico. Uma das principais características de um conversor A/D é a resolução do sinal de saída. A resolução de um conversor A/D é definida por Tocci e Widmer (2000) como a menor tensão analógica necessária para proporcionar uma mudança na saída do conversor. A quantidade de valores que um conversor A/D representa em sua saída é igual a 2^n , sendo n o número de bits que o conversor possui. Dessa forma, um conversor A/D com resolução de 10 bits converte uma tensão analógica, fazendo que a menor tensão que o conversor representa seja mostrada como zero e a maior, $1023 (2^{10}-1)$.

Para converter um sinal analógico, ele não pode oscilar durante o tempo em que está sendo convertido. Para isso, é utilizado um circuito de amostragem e retenção, mais conhecido por *sample-and-hold*

(S/H). O S/H mantém a tensão analógica constante enquanto a conversão A/D é realizada. Um circuito S/H tem alta impedância de entrada; dessa forma, o circuito não drena corrente excessiva do sensor nem do condicionador de sinais, realizando uma leitura do sinal analógico sem alterá-lo.

Além dos sensores analógicos, outro sensor muito utilizado para quantificar variáveis meteorológicas é o digital. Tal sensor é calibrado para gerar sinais elétricos (eventos) quando ocorrer um acúmulo de energia suficientemente grande para realizar uma ação mecânica como o virar de uma balança, o giro do eixo de um anemômetro etc.

Os sensores apenas efetuam as leituras das variáveis meteorológicas, disponibilizando-as para o sistema automático de aquisição de dados, que condiciona e converte os sinais analógicos em digitais, registrando em seguida os dados em memória, para disponibilizá-los futuramente. O automatismo do registro dos dados tende a ser feito cada vez mais por equipamentos eletrônicos, em sua grande maioria acionados por microcontroladores, que são microcontroladores são circuitos integrados de simples utilização, com vários tipos de encapsulamentos, destinados ao tratamento de sinais digitais (PEREIRA, 2002). Internamente são compostos por memória RAM (memória de acesso aleatório) e ROM (memória somente de leitura), oscilador de clock, I/O (portas de comunicação), barramentos, temporizadores, conversores de sinais, entre outros. Segundo Oliveira e Andrade (2006), a grande quantidade de periféricos inseridos em um único circuito integrado proporciona a redução do circuito eletrônico dos dispositivos eletrônicos, reduzindo, dessa forma, custos e tempo de projeto, tornando-os componentes indispensáveis em novas aplicações.

Alguns dispositivos eletrônicos necessitam de memória externa por causa da quantidade de dados que o equipamento gera, e esses dados não podem se perder caso haja falha no fornecimento de energia. O armazenamento de dados em memória não volátil de forma rápida e prática pode ser efetuado por meio de uma memória do tipo EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory). Segundo Tocci e Widmer (2000), uma memória EEPROM pode registrar ou apagar dados da memória apenas eletricamente, o que facilita e muito o desenvolvimento de um novo projeto. Existem vários tipos de protocolos de

comunicação para memórias, entre eles: I²C, SPI, 1-WIRE, CAN e paralelo, entre outros.

Os circuitos integrados em uma placa de dispositivo comunicam-se por meio de protocolos, sendo I²C (Inter Integrated Communication) um dos mais utilizados. I²C é um protocolo síncrono que possibilita a comunicação de diversos dispositivos com uma só conexão provida por duas vias (clock - SCL e dados - SDA), sendo realizada por saídas em coletor aberto (open collector), constituindo, assim, um barramento de comunicação serial, ou uma rede de dispositivos (PEREIRA, 2003; ZANCO, 2006).

A aquisição de dados é realizada ao descarregar os dados de um equipamento em um microcomputador. Tal procedimento ocorre por meio de cabos com auxílio de protocolos específicos, sendo geralmente utilizados os protocolos paralelo (LPT) e serial (RS-232, USB). Segundo Zelenovsky e Mendonça (2002), a porta serial contrasta com a porta paralela em dois pontos básicos. A porta paralela comunica mais rapidamente do que a porta serial (RS 232), fato esse provido pelos 18 condutores da porta paralela. A porta serial requer apenas três condutores para realizar uma comunicação bidirecional, ocasionando, assim, uma comunicação com velocidade mais limitada do que a provida pela paralela, mas por outro lado aperfeiçoa as conexões entre um sistema de aquisição de dados e um microcomputador.

Maior quantidade de condutores leva os equipamentos a ter custo elevado, proporcionado por maior quantidade de conexões a serem realizadas. Dessa forma, opta-se por uma comunicação serial ao se desenvolver um equipamento que não tenha grande necessidade de grande velocidade de comunicação. As portas seriais (RS-232) do PC são programáveis com comunicação assíncrona.

Grande parte dos equipamentos que mostram dados ao usuário o fazem por meio de um display, na maioria das vezes, um display de cristal líquido (LCD). Um dos motivos que levam um projetista a utilizar um LCD é o seu baixo consumo. Comparativamente com um display de LED, segundo Boylestad e Nashelsky (1998), um LCD tem consumo na ordem de microwatts, enquanto o consumo para um display de LED está na faixa de miliwatts. Entretanto, um LCD necessita de uma fonte de luz externa ou interna para que seu funcionamento seja adequado.

LCDs de caracteres normalmente são compatíveis

com o código ASCII e mostram letras, números e caracteres especiais. Além dos caracteres armazenados na memória RAM interna do LCD, ele permite que se criem novos caracteres ou símbolos personalizados. Existem vários tipos de LCDs caracteres, como, exemplo: 8x1, 8x2, 16x1, 16x2, 16x4, 20x2 e 20x4, entre outros. De acordo com Zanco (2006), equipamentos que serão utilizados no campo devem ser construídos com LCDs do tipo reflexivo, por terem melhor desempenho.

Para o bom funcionamento de um equipamento, cria-se uma placa de circuito impresso (PCI) que interliga os componentes elétricos e eletrônicos de forma permanente e eficiente. A PCI contribui na redução de mau contato entre os elementos constituintes da placa, além de facilitar a montagem e produção de equipamentos, reduzindo e até substituindo a utilização de fios por trilhas de cobre (OLIVEIRA & ANDRADE, 2006).

Com base em todo o exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma estação meteorológica automática nacional com baixa complexidade na manipulação dos dados, operacionalidade simples, sensores fáceis de serem instalados para facilitar a manutenção, e que fornecesse resultados confiáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa de desenvolvimento da Estação Meteorológica Automática (EMA) foi dividida em duas etapas: desenvolvimento e calibração. Realizou-

se o referido desenvolvimento no Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão do DEA/UFV (Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV) e no laboratório da empresa IRRIPLUS (Irriplus Equipamentos Científicos Ltda.), pertencente à Incubadora de Empresas de Base Tecnológica da UFV. A calibração dos sensores foi realizada no laboratório da IRRIPLUS e, em campo, no DEA/UFV.

Desenvolvimento da estação meteorológica automática

A estação meteorológica automática (EMA) foi desenvolvida para ser eletronicamente automatizada na leitura e no registro dos dados das variáveis meteorológicas. A capacidade de armazenamento dos dados na memória do equipamento é de um ano, com disponibilidade de dados diários no *display* e dados horários mediante a retirada da base de dados por meio de uma conexão acessível para microcomputador. A energia elétrica utilizada para o sistema é gerada por meio de um painel solar, que, por sua vez, carrega uma bateria para suprir a deficiência energética nos períodos noturnos.

Para dar início ao projeto, idealizou-se o sistema em um diagrama de blocos, forma essa que ordena melhor as idéias de construção de um dispositivo. O diagrama de blocos da EMA foi dividido em oito partes (Figura 1).

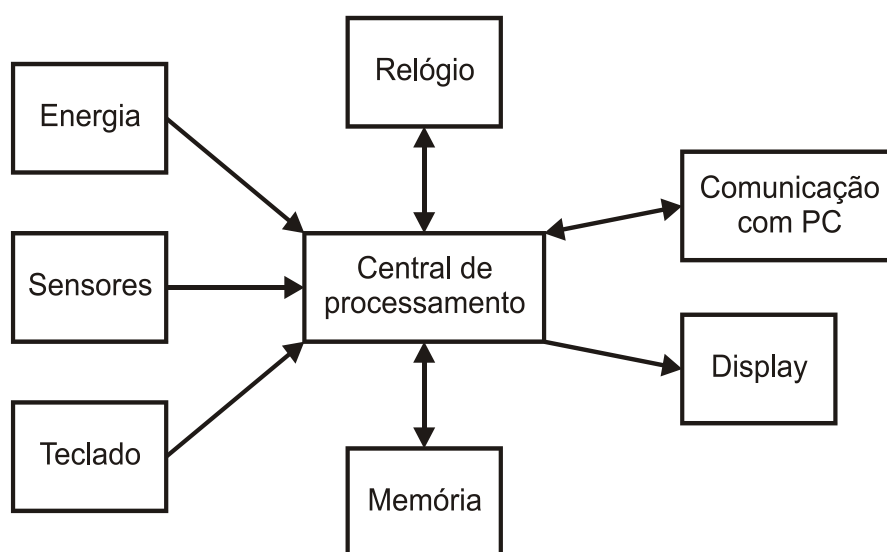


Figura 1. Diagrama simplificado da EMA desenvolvida.

O principal bloco do sistema foi nomeado “Central de Processamento”. Tal bloco gerencia todas as funções do equipamento, unindo entradas e saídas do sistema. Os blocos secundários são os de entrada e saída expostos nas extremidades do diagrama.

O bloco “Energia” promove a autossuficiência energética do sistema por meio de um painel solar. O bloco “Sensores” é responsável pelo envio dos sinais elétricos que representam os fenômenos meteorológicos para a Central de Processamento. O bloco “Teclado” envia para a Central de Processamento as operações desejadas do usuário. “Relógio” é o bloco responsável por informar à Central de Processamento o momento exato de executar as operações. “Memória” é o bloco que armazena os dados, sendo este também a fonte de fornecimento dos dados históricos do equipamento. “Comunicação com PC” é um bloco de controle utilizado para fazer leitura dos dados históricos e configurar o equipamento de forma geral. O bloco *Display* apresenta os dados históricos ou correntes solicitados pelo usuário.

A energia elétrica utilizada no equipamento é fornecida por um painel solar de 5 W. Após a captação dos raios solares, o painel converte a energia solar em energia elétrica e a envia para um circuito condicionador de sinal, que reduz o sinal de 16 para 6,6 V. Energia essa que é armazenada em uma bateria. Em seguida, a bateria envia sua energia a um segundo condicionador de sinal, que reduz a tensão da bateria para uma tensão em torno de 4,5 V.

A EMA possui dois tipos de sensores: analógicos e digitais. O higrômetro, piranômetro e termômetro são sensores analógicos, ao passo que o anemômetro e o pluviômetro são sensores digitais.

O sensor de temperatura utilizado neste trabalho é um componente eletrônico comercial LM35CAZ, da “National Semiconductor”, que é um circuito integrado com encapsulamento plástico TO-92. O sinal de saída do LM35CAZ é uma tensão proporcionalmente linear à temperatura em °C, sendo seu sinal igual a +10,0 mV/°C.

O higrômetro utilizado foi o componente eletrônico HIH-4000-004, da Honeywell, com

encapsulamento SIP. Adotou-se neste trabalho uma tensão de alimentação de 4,096 V para esse sensor, tensão essa ajustada pelo regulador de tensão MCP1541 da Microchip. Tal sensor já possui uma calibração de fábrica com grande exatidão em sua resposta, sendo garantido pelo fabricante um erro de no máximo ±3,5%. Utilizou-se um filtro no sinal de saída para estabilizar a resposta do sensor. As equações indicadas pelo fabricante para conversão do sinal são:

$$RH_{25^{\circ}C} = \frac{\left(\frac{V_{Out}}{V_{Supply}} - 0,16 \right)}{0,0062} \quad (1)$$

$$TrueRH = \frac{RH_{25^{\circ}C}}{1,0546 - 0,00216T} \quad (2)$$

em que,

$RH_{25^{\circ}C}$: umidade relativa do ar a uma temperatura igual a 25 °C (%);

V_{Out} : resposta do sensor de umidade relativa do ar (V);

V_{Supply} : tensão de alimentação do sensor de umidade relativa do ar (V);

TrueRH: umidade relativa do ar com a correção de temperatura (%); e

T: temperatura ambiente à qual o sensor está exposto (°C).

A ação de intempéries sobre os sensores de temperatura e umidade relativa do ar pode ocasionar leituras duvidosas. Dessa forma, para que não haja formação de um microclima próximo aos sensores diferente do real, desenvolveu-se um abrigo termométrico (Figura 2a), que faz com que o microclima próximo dos sensores seja o mais próximo possível do clima atmosférico. O material utilizado na construção do abrigo foi o polipropileno, na cor branca para refletir a maior quantidade possível de energia solar.

Para proteção, colocou-se um cilindro de PVC em torno dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar a fim de evitar maior incidência de radiação sobre o sensor, além da proteção mecânica que este proporciona.

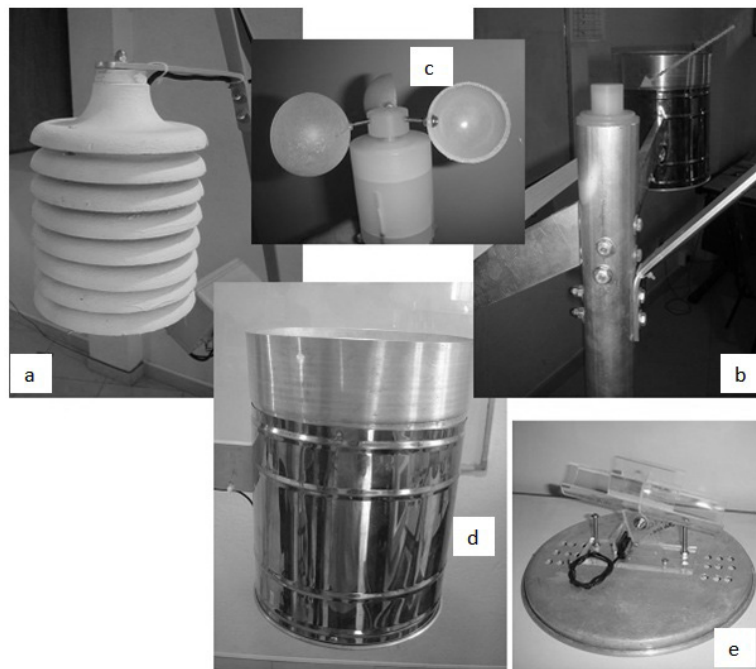


Figura 2. Sensores que compõem a estação desenvolvida no experimento: Abrigo termométrico (a); Piranômetro (b); Anemômetro (c); Pluviômetro (d) com detalhe da balança (e).

O elemento sensor do piranômetro utilizado neste trabalho foi o BPW20R, da *Vishay Semiconductors*, que é um fotodiodo de silício plano, especialmente desenvolvido para aplicações de alta precisão linear. O encapsulamento do BPW20R é o TO-5. Esse componente é frágil, por isso foi desenvolvido um invólucro torneado em polipropileno para proteção do elemento sensor. O invólucro transmite a irradiância solar na faixa de 400 a 1.100 nm do comprimento de onda, faixa essa ao qual o fotodiodo é sensível. Depois de inserido o componente no invólucro, completa-se o furo com cola quente para fixar e proteger o sensor. O sinal elétrico deste sensor passa por um condicionador de sinal que o converte de corrente para tensão e depois o envia para a Central de Processamento.

O anemômetro de concha (Figura 2c) é um sensor que mede a velocidade do vento somente no plano horizontal. Sua estrutura e funcionamento se dão da seguinte forma: um cilindro torneado com um furo no centro é a base do anemômetro. Por dentro do cilindro, passa um eixo que sustenta as conchas. Foram colocadas três conchas em um suporte, sendo igualmente espaçadas entre si num ângulo de 120°. O eixo foi fixado em dois rolamentos com o objetivo de propiciar maior

sensibilidade ao sensor.

A parede da base do cilindro é mais espessa para fixar o sensor magnético (*reed switch*). Fixou-se um ímã permanente no eixo do anemômetro de forma que, ao girar o eixo, o ímã passa próximo ao *reed switch*, fazendo com que o circuito de polarização do tipo *pull-up* transforme o sinal de cinco para zero volt. Uma revolução é equivalente a uma volta completa (360°) das conchas do anemômetro. Cada revolução das conchas do anemômetro gera um pulso elétrico para o contador na Central de Processamento. Utilizou-se o *reed switch* como elemento sensor para reduzir o consumo de energia elétrica da EMA, tendo por base que a chave magnética em série com o resistor de 1 M Ω consome cerca de 5 μ A.

Tal processo, conectado à Central de Processamento, conta o número de pulsos ao girar o eixo do anemômetro. O total de pulsos emitidos em determinado intervalo de tempo é proporcional à velocidade do vento.

O pluviômetro (Figura 2d) consiste de um coletor de chuva com um cilindro externo de aço inox AISI 430 que sustenta todo o equipamento. A base do cilindro é de alumínio e tem a função de suportar o sensor de acrílico (báscula), além

de fechar o sistema pelo lado inferior. Acima do cilindro foi colocado um funil de alumínio que coleta água da chuva e a concentra na balsa.

A base do sensor é composta por quatro partes: base, balsa e dois parafusos de calibração. Os parafusos são fixados na base da balsa, de forma que servem para estabelecer o volume de água necessário para fazer com que a balsa entorne o volume calibrado (11,5 mL). A balsa, que possui uma divisória formando dois recipientes de coleta de água, é fixada na base de alumínio, ficando pendida para um dos lados.

O funcionamento da balsa é similar ao de uma balança com pêndulo. Ao atingir o volume de água preestabelecido na calibração, a balsa entorna a água fazendo com que um ímã permanente fixado no coletor passe sobre o sensor magnético (*reed switch*), que, por sua vez, é conectado à Central de Processamento. O pluviômetro não é ligado a um circuito condicionador de sinal externo pelo fato de o pino em que ele foi conectado na Central de Processamento já possuir um condicionador de sinal do tipo *pull-up* internamente, que funcionará como um contador de pulsos. Cada pulso é equivalente a uma parcela de precipitação, sendo de 1/3 de milímetro a parcela escolhida para este trabalho. Escolheu-se a resolução de 0,33 mm pela facilidade na conversão dos dados digitais em dados de precipitação, de forma que, com o acúmulo de cada três pulsos do pluviômetro, se tenha 1 mm de precipitação.

O bloco “Teclado” é formado por quatro botões do tipo *push-botton*. Os botões são ligados diretamente à Central de Processamento em pinos com circuitos *pull-up* interno para cada botão. Não foi instalado nenhum filtro de ruídos eletronicamente porque se foram instalados filtros contra ruídos no programa.

A EMA foi projetada para medir os elementos meteorológicos e armazenar esses dados durante um ano na RAM (Random Access Memory – memória volátil). Após esse período, os novos dados começarão a sobrescrever os dados antigos sem nenhuma mensagem. Sendo a leitura realizada de minuto em minuto, resulta que, de hora em hora, a Central de Processamento calcula a média com os valores armazenados, estabelece o posicionamento com base na data e hora atual

do bloco “Relógio” e armazena os dados no bloco “Memória”, liberando, logo em seguida, a memória RAM para uma nova armazenagem de dados.

O bloco “Relógio” é composto por um cristal de quartzo de 32.768 Hz e um circuito integrado denominado DS1337 da Maxim/Dallas Semiconductor, que é um RTC (Real-Time Clock) com comunicação serial via protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit), enquanto o bloco “Memória” é composto por uma memória do tipo EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory), modelo 24LC1025-I/P, da Microchip Technology Inc.

A aquisição dos dados pode ser realizada com auxílio de um microcomputador por meio do protocolo de comunicação RS-232. A conexão física entre a EMA e o microcomputador deve ser feita por um cabo conversor Serial TTL/USB. Por meio da aquisição dos dados feita com o auxílio de um microcomputador, podem-se visualizar não somente os dados diários, como também os dados horários.

O bloco *Display* é composto por um LCD (*Display* de Cristal Líquido). A EMA foi projetada para mostrar no visor somente os dados diários, os quais são visualizados um de cada vez, ou seja, variável por variável e dia a dia. O usuário determina por meio do teclado quais dados deseja visualizar; escolhendo a variável e a data desejadas.

O bloco Central de Processamento possui os seguintes componentes: um microcontrolador PIC16F877A-I/P, da Microchip Technology Inc.; dois capacitores cerâmicos de 22 pF; e um cristal de quartzo de 4 MHz. O componente eletrônico que gerencia todas as operações na EMA é o microcontrolador PIC16F877A-I/P, que possui uma memória de 14,3 kbytes com a função de armazenar o programa que determina as operações a serem realizadas na EMA. O programa foi criado em um microcomputador com programa em linguagem C.

Para o funcionamento completo da EMA, é necessário unir todos os blocos em um só sistema. Dessa forma, criou-se o esquema elétrico completo (Figura 3) do equipamento, bem como a sua simulação.

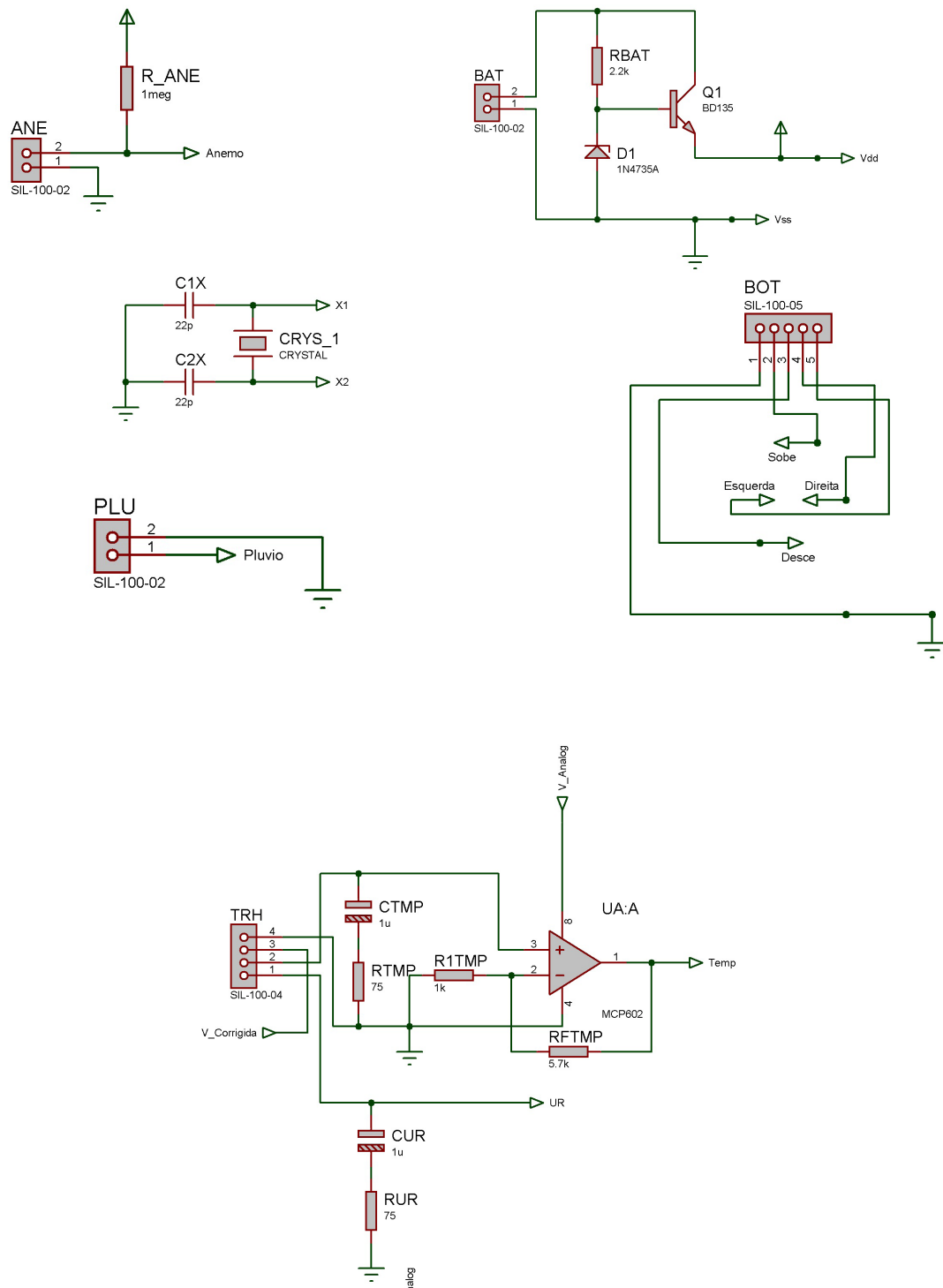


Figura 3. Esquema elétrico completo da EMA.

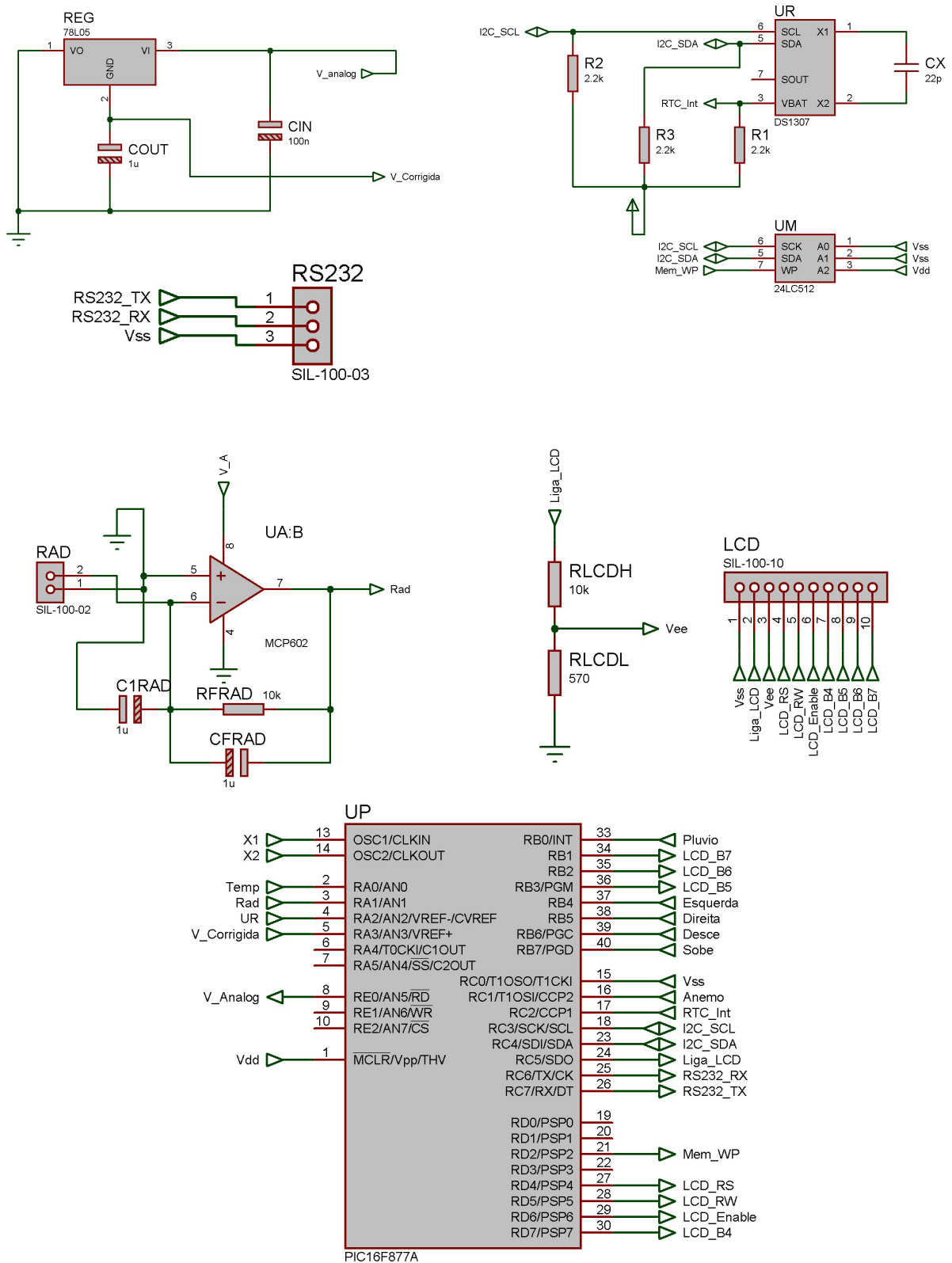


Figura 3. Esquema elétrico completo da EMA (continuação).

Criou-se o *layout* da PCI da EMA para em seguida corroer a placa de circuito impresso do equipamento e soldar os componentes eletrônicos. Com a PCI pronta, efetuou-se a soldagem dos componentes, resultando na placa da Figura 4a.

A montagem da caixa eletrônica (Figura 4b) da EMA foi feita observando os preceitos básicos de que em um circuito eletrônico não deve haver umidade, tendo a vedação de todos os orifícios do invólucro sido feita com cola quente. Para reduzir custos na manutenção do equipamento e facilitá-la, priorizou-se a inserção de conectores que propiciassem uma fácil conexão dos sensores ao equipamento.

A EMA é um equipamento que mede e registra dados dos elementos meteorológicos, sendo necessário instalá-la em campo exposto à chuva, vento, irradiância solar, entre outros fenômenos da natureza. O equipamento foi feito de aço inox, alumínio, polipropileno, acrílico, PVC e outros materiais também resistentes à oxirredução causada por intempéries.

A aplicação foco da EMA neste projeto está na agricultura. Segundo WMO (2006), devem-se

instalar os sensores na estrutura da EMA seguindo um posicionamento de 1,5 m de altura para o higrômetro, piranômetro, pluviômetro e termômetro e de 2 m de altura para o anemômetro, conforme se pode observar na Figura 4c. Tal posicionamento é o que melhor representa o ambiente das plantas na agricultura.

Além de medir corretamente os elementos meteorológicos, os sensores devem ser instalados na EMA de forma que não haja interferência nas leituras das variáveis meteorológicas por meio de objetos que possam obstruir as leituras dos sensores.

O piranômetro foi, assim, instalado no topo do equipamento, de forma que os raios solares atingissem o sensor em todo o tempo em que o sol estivesse sendo visto na atmosfera. O único sensor da EMA instalado com altura maior que a do piranômetro foi o anemômetro, que está a uma distância de meio metro do piranômetro, com um ângulo de 45°. Com isso, a instalação da EMA no campo deve ser realizada de modo que o anemômetro esteja voltado para o norte, para que o piranômetro seja atingido pelos raios solares de leste a oeste no deslocamento do sol durante o dia.

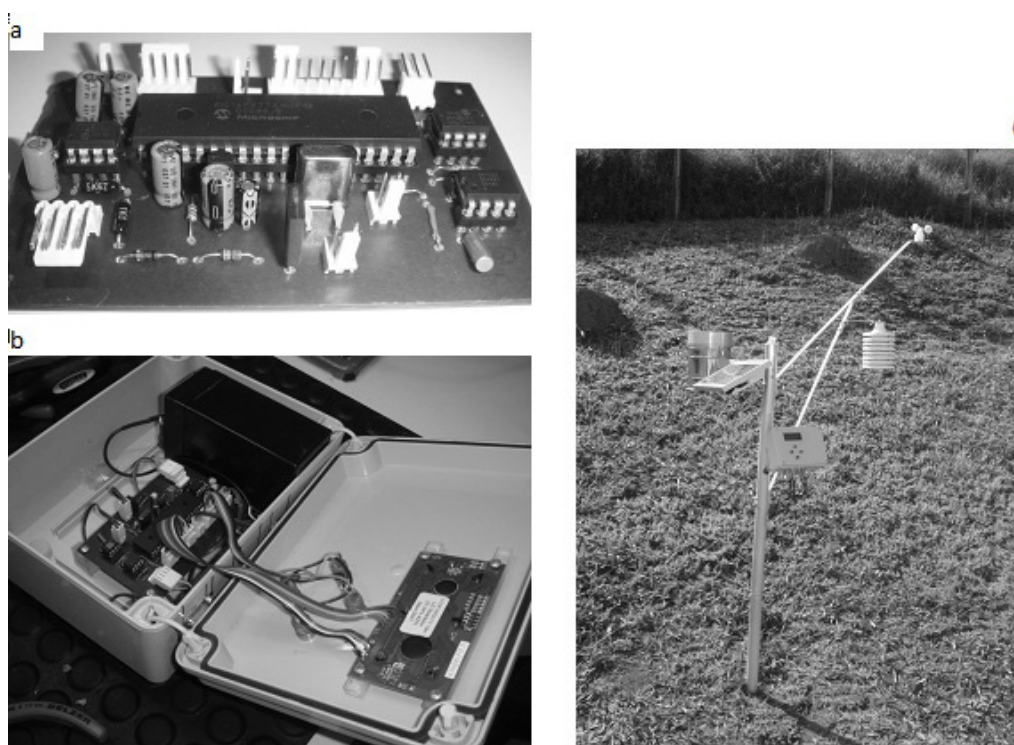


Figura 4. Estação meteorológica automática desenvolvida em detalhes: Placa de circuito impresso com componentes eletrônicos soldados (a); Caixa eletrônica montada (b); EMA desenvolvida com destaque para o posicionamento dos sensores (c).

Em seguida, foi criado um programa (E3000AD) para realizar a aquisição dos dados registrados na EMA, salvando-os em arquivo de banco de dados com extensão “mdb”. Podem-se cadastrar vários equipamentos em um só E3000AD. O usuário seleciona o banco de dados do equipamento a ser usado ou solicita ao programa que o identifique, após ter conectado o microcomputador no equipamento.

O E3000AD (Figura 5) foi projetado para realizar a aquisição dos dados, registrando em um

arquivo do tipo “mdb” ou apenas para visualização pontual ou atual

Os dados históricos registrados no programa podem ser visualizados nos formatos de tabela e de gráfico. No modo tabela observa-se os dados somente na forma horária. No modo gráfico, deve-se preestabelecer o período a ser visualizado (Figura 6) para em seguida solicitar que o programa plote o gráfico. Foi inserido um botão “Excel” na tela gráfica para possibilitar a exportação dos dados para o programa Excel.

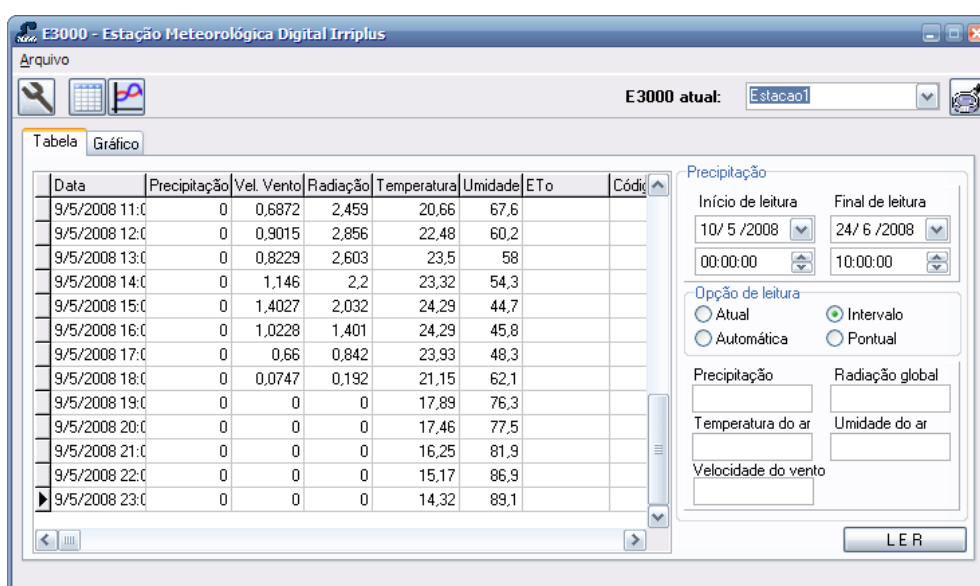


Figura 5. Banco de dados no E3000AD.

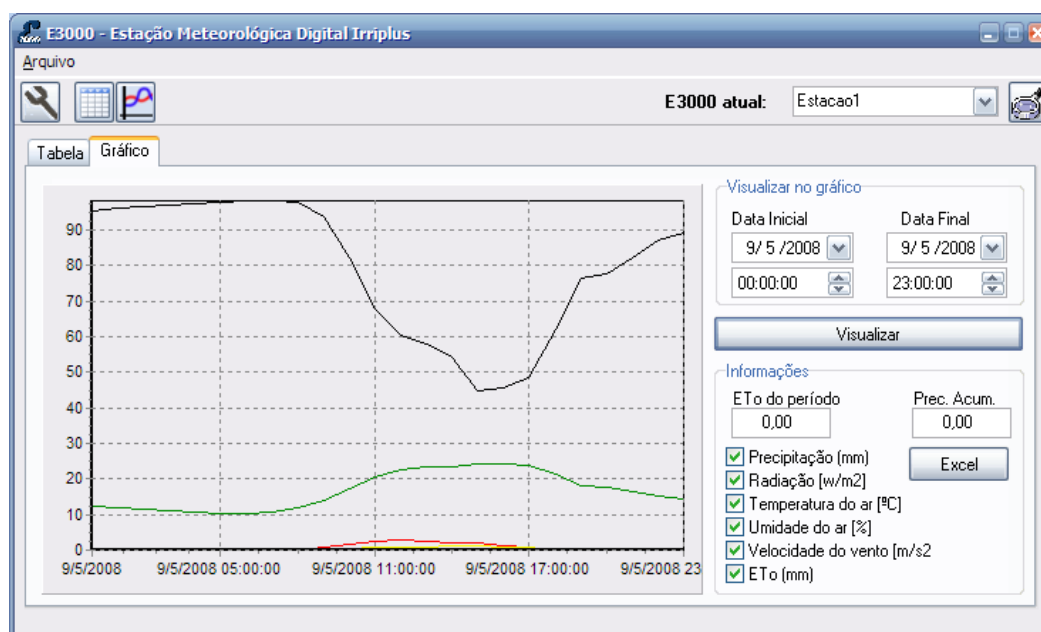


Figura 6. Plotagem dos dados no programa E3000AD.

Calibração dos sensores

A calibração dos sensores propostos da EMA foi realizada com base nos procedimentos recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2006), estando descritas a seguir.

Com o auxílio de um fluxo de ar gerado por um ventilador, efetuou-se a análise comparativa do anemômetro, realizada de forma que o ventilador fosse posicionado em um ambiente fechado para não haver influência de fluxos de ar externos. Determinou-se a posição em frente do ventilador em que havia a menor variação de velocidade do vento com o anemômetro MDA-10, da Minipa Indústria e Comércio Ltda. O MAD-10 foi escolhido por ter exatidão de $\pm 3\%$ e resolução de 0,1 m/s.

Depois de localizada a posição do teste com os sensores, configurou-se o equipamento para atingir a mais baixa velocidade do vento na análise comparativa, sendo a velocidade do vento determinada pelo anemômetro digital de referência (MAD-10). Com a velocidade do vento estabilizada, retirou-se o sensor de referência e colocou-se o sensor desenvolvido na mesma posição para que ele fosse atingido pelo mesmo fluxo de ar. Com o auxílio de um contador de pulsos (desenvolvimento próprio), verificou-se a totalização dos pulsos em um minuto para cada uma das cinco velocidades do vento trabalhadas.

A calibração do higrômetro foi dividida em etapas, de forma que o sensor a ser calibrado foi exposto inicialmente ao ambiente (com soluções salinas saturadas) com umidade do ar constante de 11,3%; logo após, com 30,6%; e assim, sucessivamente, com as umidades de 32,8%; 54,0%; 75,2%; 90,0%; e 97,1%. É importante ressaltar que, ao colocar o sensor a ser calibrado no invólucro hermético, aguarda-se em torno de dois dias até que se estabilize a umidade do ar dentro do recipiente para observar a resposta do sensor. Para verificar a estabilização do sensor, observou-se sua resposta de 5 em 5 horas, até constatar que não estava havendo modificações. Juntamente com o sensor de umidade do ar calibrado, foi colocado um sensor de temperatura já calibrado para medir a temperatura.

A calibração do pluviômetro foi realizada em

laboratório, com o auxílio de pipeta graduada de 15 mL e uma estrutura metálica. Ao concluir a montagem da balança, ela é fixada abaixo do funil na estrutura, abrindo-se uma torneira sobre a estrutura para que a água desça com uma leve intensidade, simulando uma chuva. Com isso, o funil capta toda a água e a direciona para a balança, onde se acumula até ocorrer o seu tombamento para o outro lado. É importante observar que, ao tombar, a água deve ser captada por um recipiente para futuramente seu volume ser medido em uma pipeta calibrada. Repete-se o processo até que a balança esteja entornando com 11,5 mL de cada lado, resultando uma resolução de 0,33 mm.

Posicionou-se o piranômetro desenvolvido ao lado de um sensor padrão do tipo termopilha, que foi exposto à luz solar e conectado a um sistema de aquisição de dados. A leitura foi realizada de minuto em minuto. Depois de obtidos os dados de irradiância solar de ambos os sensores (padrão e proposto), a média do sinal do sensor padrão foi dividida pela média do sinal do sensor proposto para encontrar a constante de ajuste do sinal deste último.

O sensor de irradiância solar foi instalado a uma altura de 1,5 m do solo, tomando-se o cuidado para que não houvesse nenhuma obstrução entre a luz solar e o sensor no sentido leste-oeste.

O componente eletrônico LM35CAZ é um sensor de temperatura que já possui calibração de fábrica, sendo desnecessária sua calibração antes de colocá-lo na EMA desenvolvida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados obtidos nos procedimentos de calibração do anemômetro, higrômetro, termômetro e piranômetro, plotaram-se os diagramas de dispersão dos dados dos sensores desenvolvidos.

Com os dados de velocidade do vento obtidos por meio do anemômetro de referência e a quantidade de pulsos gerados pelo anemômetro desenvolvido, plotou-se o diagrama de dispersão dos dados da calibração do anemômetro (Figura 7). Procedeu-se, também, à análise de regressão dos dados para gerar a equação de calibração do sensor, resultando em um r^2 igual a 0,993.

A partir dos dados de umidade relativa do ar obtidos na Tabela 1 e dos dados de tensão elétrica do higrômetro desenvolvido, plotou-se o diagrama de dispersão dos dados da calibração do higrômetro (Figura 8). Também foi feita a análise de regressão dos dados para gerar a equação de calibração do sensor de umidade relativa do ar, resultando em um r^2 igual a 0,999. Resultado (r^2) muito próximo daquele encontrado por Sugawara et al. (2003), de 0,98.

Após obter os dados de irradiância solar do sensor de referência no período de 05/06 a 11/06,

juntamente com os dados de tensão elétrica do piranômetro desenvolvido, plotou-se o diagrama de dispersão dos dados da calibração do piranômetro (Figura 9). Fez-se também a análise de regressão dos dados para gerar a equação de calibração do sensor de irradiância solar, resultando em um r^2 igual a 0,995.

Para o pluviômetro e o termômetro não foram criados diagramas de dispersão, pois diante do teste de comparação de dados realizado, ambos os sensores não apresentaram diferenças em suas respostas para os sensores de referência.

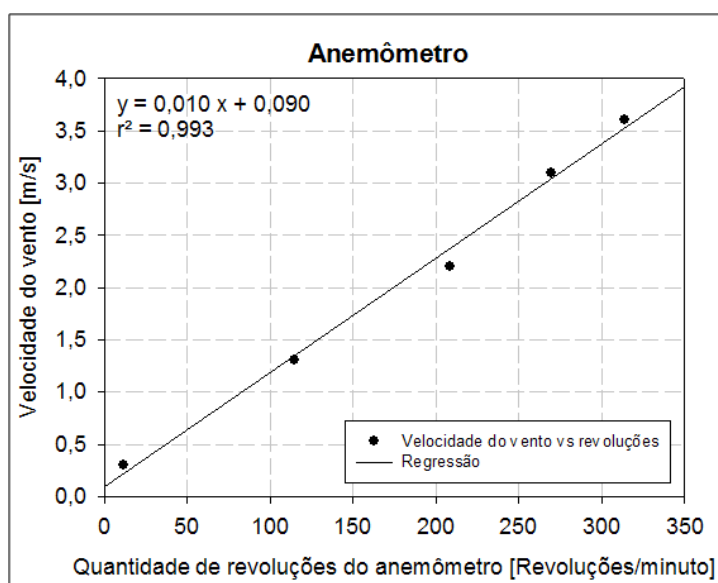


Figura 7. Diagrama de dispersão dos dados do anemômetro desenvolvido.

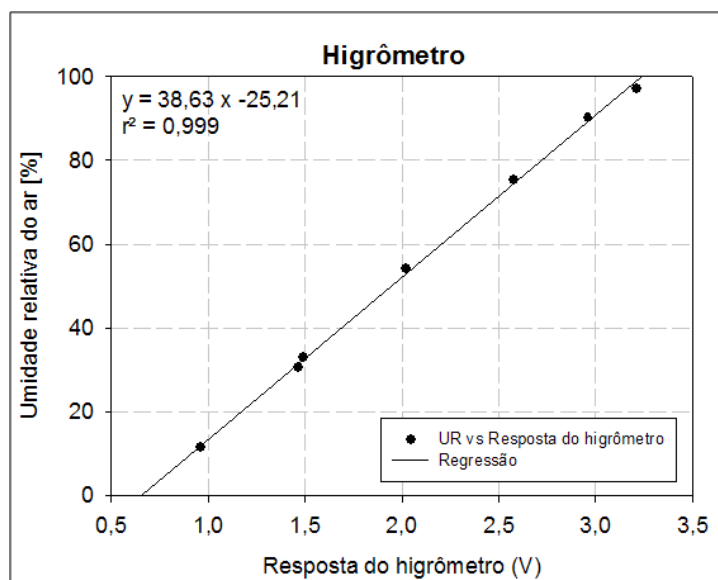


Figura 8. Diagrama de dispersão dos dados do higrômetro.

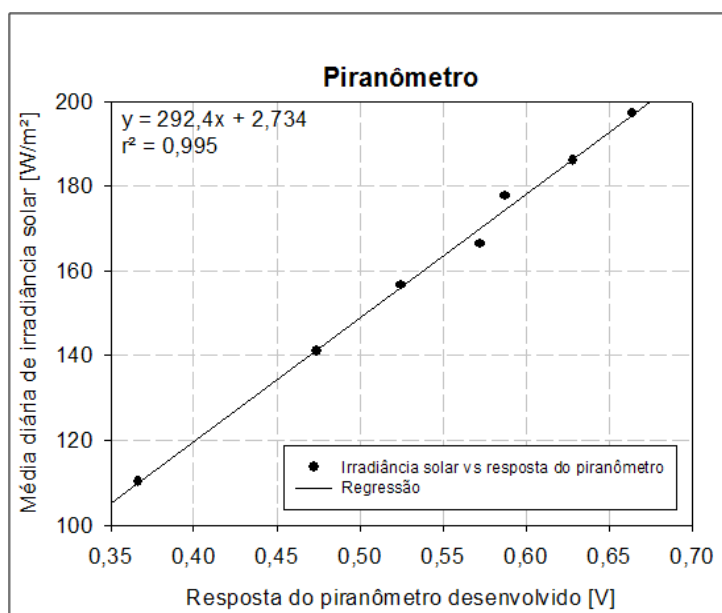


Figura 9. Diagrama de dispersão dos dados do piranômetro desenvolvido.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do equipamento atendeu aos objetivos de autossuficiência energética; manipulação dos dados com e sem o uso de um microcomputador; simplicidade no uso; facilidade na manutenção; e boa correlação na resposta de seus sensores. Dessa forma, conclui-se que o equipamento desenvolvido atende aos requisitos técnicos e operacionais de utilização na agricultura. Porém, por ainda ser um protótipo, não é uma substituição imediata dos equipamentos similares já existentes no mercado, faltando para isso, testes em laboratórios de metrologia acreditados nacionalmente e internacionalmente que certifiquem seu funcionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. v.56, 300p. (Irrigation and Drainage paper).
- BOYLESTAD, R.L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 6. ed. [S.l.]: LTC, 1998. 649 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. ROME: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- EFE, S.I.; ADOGBEJI, O.B. The assessment of the use of information and communication technology (ICT) in data storage and information dissemination in Nigerian meteorological stations. **Electronic Library**, v.24, n.2, p.237-242, 2006.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 2. ed. Rio de Janeiro; LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996. 292p.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007a. 358p.
- MANTOVANI, E.C.; SOUZA, J.A.R.; SOUZA, D.O. Irrigação do tomateiro. In: SILVA, D.J.H.; VALE, F.X.R. **Tomate: tecnologia de produção**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2007b. 355p.

MANTOVANI, E.C.; VICENTE, M.R.; ALVES, M.E.B.; NETO, H.B. Irrigação como fator de qualidade do café. In: ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: DFP/UFV, 2006. 234p.

MANTOVANI, E.C.; VICENTE, M.R. Características rastreáveis dos sistemas de irrigação do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Rastreabilidade para a cadeia produtiva do café**. Viçosa, MG: DFP/UFV, 2007. 442p.

OLIVEIRA, A.S.; ANDRADE, F.S. **Sistemas embarcados**: hardware e o firmware na prática. 1. ed. [S.l.]: Érika, 2006. 316p.

ORDONEZ, E.D.M.; PENTEADO, C.G.; SILVA, A.C.R. **Microcontroladores e FPGAs** – Aplicações em automação. São Paulo: Novatec, 2005. 384p.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC**: programação em C. 1. ed. [S.l.]: Érika, 2003. 358p.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC**: técnicas avançadas. 5. ed. [S.l.]: Érika, 2002. 358p.

SEDRA, A.S.; SMITH, K. **Microeletrônica**. 4. ed. [S.l.]: Makron Books, 2000.

SUGAWARA, M.T. **Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática**: 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 3. ed. [S.l.]: Érika, 2007. 220p.

TOCCI, R.J.; WIDMER, N.S. **Sistemas digitais**: princípios e aplicações. 7. ed. [S.l.]: LTC, 2000. 588 p.

WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 8 draft seventh edition, 2006. (World Meteorological Organization).

ZANCO, W.S. **Microcontroladores PIC**: técnicas de software e hardware para projetos de circuitos eletrônicos com base no PIC 16F877A. 1. ed. [S.l.]: Érika, 2006. 390p.

ZELENOVSKY, R.; MENDONÇA, A.; **PC: Um guia prático de hardware e interfaceamento**. 3. ed. MZ Editora, 2002. 1031p.