

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO
MICROMETEOROLÓGICA COM ARMAZENAMENTO
DE DADOS**

GERALDO APARECIDO RODRIGUES NEVES

**PROF. DR. ALFREDO JORGE
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, fevereiro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO
MICROMETEOROLÓGICA COM ARMAZENAMENTO
DE DADOS**

GERALDO APARECIDO RODRIGUES NEVES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

**PROF. DR. ALFREDO JORGE
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, fevereiro de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

N518d Neves, Geraldo Aparecido Rodrigues
Desenvolvimento de estação micrometeorológica com armazenamento de dados / Geraldo Aparecido Rodrigues Neves. – 2011.
xiv, 41 f. : il. ; color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Jorge.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Pós-graduação em Física Ambiental, 2011.
Bibliografia: f. 39-41.
Inclui anexo.

1. Micrometeorologia – Sistemas de monitoramento. 2. Estação micrometeorológica. 3. Monitoramento ambiental. I. Título.

CDU – 551.5:53.083(043.3)

Ficha elaborada por: Rosângela Aparecida Vicente Söhn – CRB-1/931

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

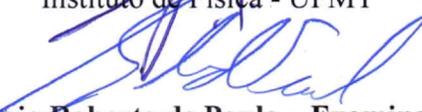
**TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA
COM ARMAZENAMENTO DE DADOS**

AUTOR: GERALDO APARECIDO RODRIGUES NEVES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 28 de fevereiro de 2011, pela comissão julgadora:



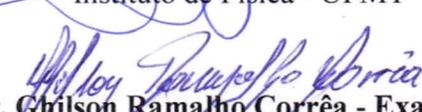
Prof. Dr. Alfredo Jorge – Orientador
Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo – Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. José de Souza Nogueira – Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Gilson Ramalho Corrêa - Examinador Externo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT

DEDICATÓRIA

Agradeço a Deus pelo o dom da vida e em acreditar que o Real estará por vir.

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Ao Prof. Dr. Alfredo Jorge, pelo apoio, incentivo e confiança a mim depositados e por ser um grande amigo;

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pelo apoio, incentivo e confiança a mim depositados e por ser um grande amigo;

Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes, pela co-orientação deste trabalho, e no qual foram de grande importância para minha formação profissional;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, não só pelas aulas, mas também pelo companheirismo;

A meu pai Geraldo Rodrigues Neves e a minha mãe Elza Ferreira dos Santos Neves ao qual dedico este trabalho;

A minha querida e adorável esposa Cristina Lachat Neves, meus filhos Robson Rodrigues Neves e Greice Lachat Rodrigues Neves;

Ao meu querido irmão Alfredo Santos Rodrigues Neves;

Aos técnicos pela dedicação, ajuda e orientação na realização dos ensaios e empréstimos dos laboratórios;

A UFMT pelo auxílio financeiro;

A todos os colegas de curso que ajudaram em muito, os quais se tornaram grandes amigos, em especial aos amigos e companheiros Roberto Benedito Oliveira Pereira, Osvaldo Alves Pereira e Vicente Bellaver.

*“Se existe um Deus e uma alma, de que
mais precisamos?”
(Autor desconhecido)*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELA.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XII
RESUMO.....	XIII
ABSTRACT	XIV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 SENSORES	5
2.1.1 <i>Sensor Capacitivo</i>	6
2.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR	7
2.1.3 SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR.....	9
2.1.4 <i>Sistema de Aquisição de Dados</i>	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE TESTE	11
3.2 EQUIPAMENTOS DE REFERÊNCIA.....	12
3.2.1 <i>Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar</i>	12
3.2.2 <i>Sensor de Radiação Solar</i>	12
3.2.3 <i>Datalogger (CR10X-Campbell)</i>	13
3.2.3.1 Especificações e Características do Datalogger	14
3.2.3.2 Software.....	16
3.3 EQUIPAMENTOS CONSTRUÍDOS	16
3.3.1 <i>Sensor de Radiação Solar</i>	16
3.3.2 <i>Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar</i>	17

3.3.3 Proteção dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	18
3.3.4 Abrigo dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar	19
3.3.5 Equipamento de Aquisição de Dados.....	21
3.3.5.1 Firmware do Datalogger	22
3.3.5.2.1 O compilador PCWH	24
3.3.5.2.2 O Programa Sprint Layout.....	25
3.3.5.2.3 Processo de gravação do firmware no microcontrolador	27
3.3.5.2.4 Software utilizado na recuperação de dados.....	28
3.4 Calibração de Sensores	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 TEMPERATURA DO AR.....	31
4.2 UMIDADE RELATIVA DO AR	33
4.3 RADIAÇÃO SOLAR	34
5 CONCLUSÕES	36
6 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	38
ANEXO	1
A - CÓDIGO DO FIRMWARE.....	1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Telhado do bloco do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (Neves, G.A.R., 2010).....	11
Figura 2 - Termohigrômetro instalado em seu suporte (A) e termohigrômetro em seu desenho esquemático (B).	12
Figura 3 - Piranômetro (LI-200SA) que fornece a radiação solar incidente.....	13
Figura 4 - Visão das partes do Datalogger (a) e do seu periférico teclado/display (b). (Manual do CR10X, 2010).....	13
Figura 5 - Painel de conexão do datalogger (Manual do CR10X, 2010).....	14
Figura 6 - Processo de remoção da célula fotovoltaica (Neves, G.A.R., 2010).....	17
Figura 7 - Sensor SHT75 indicação da proporcionalidade entre as dimensões dos sensores e um palito de fósforo.....	18
Figura 8 - Acomodação do elemento sensor SHT75 em caixa ventilada (Neves, G.A.R., 2010).....	18
Figura 9 - Estação meteorológica comercial (Neves, G.A.R., 2010).....	19
Figura 10 - Discos de PVC da estação meteorológica comercial	20
Figura 11 - Acomodação do conjunto elemento sensor SHT75 e caixa ventilada em abrigo termométrico protótipo (Neves, G.A.R., 2010)	20
Figura 12 - Diagrama esquemático dos principais elementos do Datalogger. (Neves, G.A.R., 2010).....	21
Figura 13 - Fluxograma esquemático dos processos necessários ao funcionamento do sistema (Neves, G.A.R., 2010).....	23
Figura 14 - Interface do compilador PCWH da CCS (Neves, G.A.R., 2010).	24
Figura 15 - Interface do programa para desenvolvimento do circuito impresso.	25
Figura 16 - Layout da placa principal do Datalogger (Neves, G.A.R., 2010).	26
Figura 17 - Acomodações do protótipo no abrigo de PVC (Neves, G.A.R., 2010)..	26

Figura 18 - Conexão física para envio do firmware ao microcontrolador foi o EasyPIC3 da MikroElectronica.....	27
Figura 19 - Software para envio do firmware para o microcontrolador IC-Prog (Neves, G.A.R., 2010).....	28
Figura 20 - O Software para a leitura dos dados gravados na memória flash - Terminal v1.9b (Neves, G.A.R., 2010).....	29
Figura 21 - Sensor protótipo à esquerda sensor de referência à direita, em cada foto. (Neves, G.A.R., 2010).....	30
Figura 22 - Relação entre temperatura do ar do termohigrômetro de referencia e o termohigrômetro protótipo.....	32
Figura 23 - Relação entre sensor de umidade relativa de referência e o sensor de umidade relativa protótipo.	33
Figura 24 - Relação entre sensor de radiação solar de referência e o sensor de radiação solar protótipo.....	35

LISTA DE TABELA

- Tabela 1** - Característica de sensibilidade do termohigrômetro protótipo e a relação entre as medidas da temperatura do ar do termohigrômetro de referência e do protótipo. 31
- Tabela 2** - Parâmetros da equação de regressão da Temperatura do Ar com o valor do erro padrão, teste t, limite de confiança e graus de significância..... 32
- Tabela 3** - Característica de sensibilidade do termohigrômetro protótipo e a relação entre as medidas da umidade relativa do ar do termohigrômetro de referência e do protótipo. 33
- Tabela 4** - Parâmetros da equação de regressão da Umidade Relativa do Ar com o valor do erro padrão, teste t, limite de confiança e graus de significância 34
- Tabela 5** - Característica de sensibilidade do sensor de radiação solar protótipo e a relação entre as medidas do sensor de radiação solar de referência e do protótipo. 34
- Tabela 6** - Parâmetros da equação de regressão da Radiação Global com o valor do erro padrão, teste t, limite de confiança e graus de significância..... 35

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

r^2	Coefficiente de correlação
AC	Corrente Alternada (Alternating Current)
ADC	Conversor Analógico Digital
AG	Terra Analógico (Analog Ground)
DC	Corrente Contínua (Direct Current)
DIFF	Diferencial (Differential)
I ² C	Protocolo e barramento para comunicação
mV	MiliVolts
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PTAT	Proporcional a temperatura absoluta (Proportional To the Absolute Temperature)
RAM	Memória de Acesso Randomico (Random Access Memory)
ROM	Memória Somente de Leitura (Read OnlyMemory)
SE	Unico (Single Ended)
SW	Chaveamento (Switch)
TTL	Transistor-Transistor Logic
V	Volts

RESUMO

NEVES, G. A. R. *DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA COM ARMAZENAMENTO DE DADOS*. Cuiabá, 2011. 61f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Estudos meteorológicos têm evidenciado alteração climática em escala global, necessitando ampliar a observação de fenômenos físicos de um número maior de ecossistemas. Para isso, a instalação de equipamentos de medição de variáveis micrometeorológicas é importante. Entretanto, tem-se observado o elevado custo de manutenção e implantação, o que dificulta o estabelecimento de novos experimentos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi descrever a confecção e o desempenho de uma estação micrometeorológica sob a ótica da temperatura e umidade relativa do ar, irradiação solar e um sistema de aquisição de dados automático. Para tanto foram utilizados além dos sensores um micro controlador, um relógio de tempo real uma memória flash e um conversor serial para coleta de dados. Os resultados obtidos, com os sensores de referência e com o sistema de captura e armazenamento de dados, associados ao baixo custo, podem tornar muito útil o monitoramento em uma estação micrometeorológica. O protótipo apresentou resultados bem aproximados dos coletados nos sistemas de referência do datalogger e sensores de referência.

Palavras-chave: Estação micrometeorológicas, variáveis micrometeorológicas, calibração da estação.

ABSTRACT

NEVES, G. A. R. *DEVELOPMENT OF STATION MICROMETEOROLOGICAL DATA STORAGE*. Cuiabá, 2011.61F. Dissertation (Master's in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Meteorological studies have shown climate change on a global scale, needing to expand the observation of physical phenomena of a larger number of ecosystems. For this, the installation of measuring equipment of micrometeorological variables is important. However, there has been the high cost of maintenance and deployment, which hinders the establishment of new experiments. In this sense, the objective was to describe the making and performance of a micrometeorological station from the viewpoint of temperature and relative humidity, solar radiation and a system of automatic data acquisition. For both sensors were used besides a microcontroller, a real time clock flash memory and a serial data collection. From the results, with the sensors and reference system for capturing and storing data associated with the low cost, can be very useful for monitoring in a micrometeorological station. The prototype showed a very approximate result of the results collected from the datalogger reference systems and reference sensors.

Keywords: Micrometeorological station, micrometeorological variables, calibration station.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Ao longo dos anos, tendo em vista o desenvolvimento técnico-científico, sempre houve uma preocupação em entender o complexo sistema chamado meio ambiente. Entretanto se faz necessário o emprego de dispositivos sensíveis às variações do ambiente, capazes de ler e armazenar informações sobre as variáveis climáticas. Na agricultura existe um interesse em aliar a produção com fatores climáticos, o emprego de sensores em pesquisas no setor agrometeorológico, tornou o uso destes dispositivos indispensáveis.

Após a revolução industrial, muitas foram as mudanças que ocorreram no setor de inovação industrial, contribuindo para o desenvolvimento das grandes cidades, que nem sempre é realizado visando a adequação climática local. No Brasil, mudanças também ocorreram, não com tanta intensidade quanto em países desenvolvidos, mas pode ser observada no setor industrial, construção civil entre outros.

Além, da preocupação com fatores das mudanças climáticas globais houve o desenvolvimento de novas tecnologias, aumentando a quantidade e qualidade dos sensores, para que aumentasse a rede de monitoramento dos ecossistemas.

O Estado de Mato Grosso, mais especificamente a sua capital, Cuiabá, apresenta sazonalidade característica com uma estação seca e uma chuvosa bem definidas, o que contribui para comum inadequação climática de ambientes construídos e de configurações urbanas.

A adequação climática é atingida quando os projetos arquitetônicos são definidos aliando o conhecimento das características térmicas do sistema construtivo e a sazonalidade climática local. Essa propriedade climática local é definida

utilizando medidas de variáveis micrometeorológica. Para isso, é necessária a instalação de equipamentos aprimorados que permita retornar informações precisas e confiáveis durante um longo período.

1.2 JUSTIFICATIVA

A aplicabilidade de equipamentos com tecnologia nacional é limitada, devido principalmente à baixa precisão, enquanto que equipamentos mais precisos são de elevado custo, o que dificulta o estabelecimento de novos experimentos.

A diminuição do custo para obtenção de dados pelos pesquisadores pode ser atingida pela construção de um equipamento que utiliza sensores e microprocessadores programáveis comerciais, com capacidade de executar com precisão, a leitura de variáveis micrometeorológicas e o armazenamento de dados, com controle de tempo predeterminado pelo operador e possibilidade de serem descarregados em um microcomputador.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi descrever a construção e avaliar o desempenho de uma estação micrometeorológica automática sob a ótica da temperatura e umidade relativa do ar, irradiação solar e um sistema de aquisição de dados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo dos anos, com o aumento da população e crescimento urbano, houve uma preocupação quanto a produção de alimentos. A pelo menos 2000 anos existem tentativas que relacionam produção agrícola com fatores climáticos, e ainda hoje estas tentativas estão evoluindo, principalmente de natureza qualitativa. Estudos a partir do século 19 foram seguidos por análise estatística, em seguida, por meio de medições microclimáticas e mais recentemente pela modelagem (MONTEITH, 2000). No período de 1920 a 1960, a meteorologia agrícola sujeita a um estreitamento com a micrometeorologia enraizou-se e começou a florescer após a Segunda Guerra Mundial em vários países europeus, na América do Norte, na Austrália, China e no Japão. Um estímulo importante foi o surgimento de novos instrumentos para medir e registrar o ambiente físico de culturas e animais e suas respostas aos fatores microclimáticos (MONTEITH, 2000).

Apesar das evoluções das técnicas de detecção e de medições em alturas na atmosfera [...] que permite a determinação das condições meteorológicas tanto de superfície como de estrutura vertical da atmosfera, as observações de superfície principalmente as realizadas no continente, continuam indispensáveis para as mais diferentes meteorologias (PEREIRA et al., 2002)

Os instrumentos meteorológicos geralmente são fabricados por empresas especializadas, não sendo economicamente viável para os pesquisadores fabricar seus próprios instrumentos, a menos que a sua aplicação em particular não possa utilizar os instrumentos disponíveis no mercado. Pois, ao adquirir os instrumentos comerciais, o problema, na maioria das vezes, se reduz ao seu emprego, que depende de custo, durabilidade, precisão, das necessidades de manutenção, da facilidade de uso ea forma do sinal de saída.(GARRISON et al.,2000)

As coletas de dados referentes aos diversos elementos meteorológicos caracterizam o estado da atmosfera. Esses dados são coletados segundo normas preestabelecidas, como a localização dos horários de observação e dos procedimentos operacionais, como calibração e aferição dos equipamentos, permitindo assim a comparação dos dados coletados em outras estações meteorológicas, cuja diferença deve ser creditada unicamente à variação do macroclima.(PEREIRA et al., 2002).

Estações meteorológicas de superfície possuem classificação conforme sua finalidade e pelo sistema de coleta de dados. Sendo para finalidade, as estações sinóticas, climáticas, aeronáuticas, agrometeorologias, e os postos pluviométricos. Em relação ao sistema de coleta de dados, as estações consideradas convencionais que exigem a presença diária do observador, e as estações automáticas que seus dados são obtidos automaticamente, nelas seus sensores emitem sinais elétricos que são recebidos por sistemas de aquisição de dados (Datalogger) possibilitando seu armazenamento.

Considerando o número de elementos observados, as estações de superfície poderão ser classificadas como de primeira, segunda e terceira classe. (PEREIRA et al., 2002).

Seja a estação meteorológica convencional ou automática, sua localização deve ser representativa da área para onde as observações serão destinadas. Precauções devem ser tomadas quanto a evitar condições extremas de relevo, área deve ser exposta com longo horizonte especialmente no sentido leste-oeste, evitar maciços florestais, sem a presença de estruturas que venham provocar sombras na área onde se encontram as instalações dos instrumentos de medição ou fatores de interferências no local (PEDRO Jr. et al., 1987).

O uso de sensores é uma ferramenta de auxílio na pesquisas da interação biosfera-atmosfera, por exemplo, BIUDES (2008) ao estimar o balanço de energia em área de pastagem no cambarazal do norte do Pantanal e SEIXAS (2009) ao utilizar sensores de fluxo de seiva para estimar a transpiração em planta de Nim Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.)

2.1 SENSORES

Sensores são dispositivos que variam suas propriedades sob a ação de uma grandeza física, fornecendo um sinal que indica essa grandeza (BASTOS, 2002). Para Moreira, 2007 sensores são instrumentos que detectam e registram a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, gerando informações que possam ser transformadas em um produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, gráficos, tabelas ou qualquer outro produto. Pode-se considerar também que um sensor é um tradutor de valores, 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.

HELFRICK e COOPER, (1994), apresentam critérios indicativos para a utilização do Datalogger:

- a) quando se pretende efetuar um grande número de medições, em um período de tempo considerável;
- b) eliminar possíveis erros sistemáticos cometidos pelo observador;
- c) quando se pretende medir diferentes grandezas na mesma atividade,
- d) quando se pretende efetuar um determinado número de medições num intervalo de tempo muito curto.

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 captura está fornecendo na leitura e no armazenamento dos dados, como: erros grosseiros, sistemáticos, instrumentais e outros (BASTOS, 2002).

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, resistência alta nos fios e regulagem inicial mal-feita, que podem ser classificados como erro ambiental e aleatório.

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. Os ativos não necessitam de fonte externa de energia, enquanto os passivos 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 interfaciar de forma adequada, os sinais analógicos fornecidos pelo sensor passivo, para que o mesmo possa ser convertido em sinal digital para a aquisição dos dados (HELFRICK e COOPER, 1994),

2.1.1 Sensor Capacitivo

Capacitores como sensores de umidade atmosférica, são formados, em geral 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. (Field et. al., citados por PEARCY et al., 1989)

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 em um mesmo encapsulamento o circuito condicionador de sinal que transforma a variação da capacitância em diferença de potencial (SILVA, 2000).

O capacitor é um componente formado por duas placas condutoras separadas a uma distância. Este é caracterizado pela magnitude das cargas e pela diferença de potencial entre os condutores (SILVA, 2000).

2.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

Em meteorologia, com relação à temperatura, é comum utilizar as expressões temperatura do ar à superfície e temperatura do ar à sombra, que são usadas de modo equivalente, para traduzir a temperatura atual em um ponto da atmosfera próximo à superfície da Terra. (VAREJÃO, 2006)

Uma maneira de aferir a temperatura do ar é por meio da variação da resistência de metais, que é causada pela transferência de calor com o meio. Possibilitando assim a verificação desta variação por meio do fluxo de energia nesta resistência.

Medidas de temperatura com exatidão e boa precisão se fazem necessárias em muitos sistemas de instrumentação e controle de processos. Entretanto, devido às respostas não lineares e a baixa amplitude nas saídas dos sensores torna-se necessário o condicionamento dos sinais, seja amplificado ou compensado às não linearidades antes de qualquer outro processamento adicional (SILVA, 2009).

Existe atualmente um grande número de transdutores de temperatura integrados à ADC's de alta resolução para disponibilizar saídas digitais. A linearização e calibração são executadas de forma digital, reduzindo-se o custo e a complexidade na utilização destes circuitos (KESTER, 2004). Outros tipos de sensores de temperatura apresentam função de transferências não lineares exigindo circuitos relativamente complexos para compensar estas não linearidades, requerendo resistores de precisão e de calibração manual para proporcionar a exatidão desejada (SILVA, 2009).

Geralmente, quando as saídas analógicas dos sensores são processadas por sistemas digitais, há a necessidade de condicionamento do sinal para que os sinais provenientes dos sensores sejam adequados às características do conversor analógico digital (MORENO E PENTEADO, citado por SILVA, 2009).

Assim, com o emprego de microcontrolador no controle de processos, o valor analógico convertido para digital pode ser manipulado pelo software de controle de acordo com decisões lógicas baseadas em comparações. Pode-se também executar operações matemáticas que definam as funções de controle.

Uma maneira de se medir a umidade relativa do ar é através de alterações produzidas por ela nas características elétricas de componentes inseridos em circuitos apropriados, e estes componentes podem ser do tipo cristal, resistores ou capacitores (SPINOLA, 2005)

Classicamente a umidade relativa é medida utilizando-se um psicrômetro, este aparelho é constituído por dois termômetros idêntico. Um dos termômetros trabalha com o bulbo seco e o outro com o bulbo úmido (DOEBELIN, 1990).

Outro método conhecido é o resistivo, que utiliza alumínio revestido por filme de óxido de alumínio. A estrutura desse filme apresenta poros cujo preenchimento por gotículas de vapor de água produz alteração do valor da sua resistência ôhmica (SPINOLA, 2005). Esta variação da resistência elétrica do material pode ser medida através de um circuito em ponte. Entretanto estes sensores possuem limitações à sua utilização em ambientes onde pode ocorrer a condensação, não trabalhando em nível de umidade relativa de 20%. Além disso, não possuem a mesma estabilidade dos sensores tipo capacitivos (SENSIRON, 2005).

Neste trabalho utilizou-se o método capacitivo, este método baseia-se na alteração das características do dielétrico pela umidade relativa. Ao utilizar como dielétrico um polímero que absorve ou libera água de maneira proporcional à umidade relativa do ambiente, este dielétrico irá apresentar a alteração da sua capacitância que poderá ser medida por um circuito eletrônico, que possibilita determinar o valor da umidade relativa do ambiente (SENSIRION, 2005).

2.1.3 SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR

Os instrumentos utilizados em estudos que envolvam processos radiativos na atmosfera são desenvolvidos para medir as irradiâncias, seja em incidência normal ou sobre uma superfície horizontal, proveniente de todo um hemisfério. Em geral, tais instrumentos capturam valores em intervalos espectrais definidos (YAMASOE, 2006).

Em alguns instrumentos, é possível adaptar um colimador de forma que o campo de visão (ou ângulo sólido) seja pequeno o suficiente para que a grandeza medida possa ser convertida em radiância. Tais instrumentos são denominados genericamente de radiômetros (YAMASOE, 2006). Uma das aplicações é determinar a transmitância direta da atmosfera, direcionando o sensor para o disco solar.

A medição de radiação solar (YAMASOE, 2006), abrangendo todo ou grande parte do espectro de onda curta é em geral realizada por meio da irradiância global incidente sobre uma superfície plana horizontal (orientada para o zênite). O termo global indica que a radiação provém de um hemisfério.

No caso destes detectores (YAMASOE, 2006), o sensor é ativado por eventos discretos de fótons que incidem sobre o material. Por esse motivo, tais detectores apresentam respostas rápidas e com sensibilidade diferenciada. Por se referenciar em princípios da Física Quântica, podem apresentar seletividade espectral. Os principais tipos são: os fotovoltaicos, fotocondutores e células foto-emissivas.

2.1.4 Sistema de Aquisição de Dados

Sistemas de aquisição de dados (Datalogger) são utilizados para os 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).

O sistema de aquisição de dados consiste de diversos 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 tratados conforme a natureza do dado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE TESTE

O presente trabalho foi realizado no telhado do Bloco do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, sediado na Universidade Federal do Mato Grosso, situada na Avenida Fernando Corrêa da Costa, s/n, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, localizado sobre as coordenadas geográficas 15°36'31"S; 56°03'48"W.

O telhado (Figura 1) está a 4 metros de altura do solo, sendo revestida por telhas de amianto de cor acinzentada, acomodadas em estruturas de concreto pintadas da cor branca.



Figura 1 - Telhado do bloco do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (Neves, G.A.R., 2010)

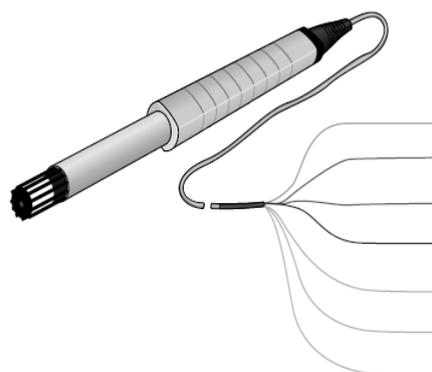
3.2 EQUIPAMENTOS DE REFERÊNCIA

3.2.1 Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar

Foi utilizado um Termohigrômetro (HMP 45 C. Vaisala, Inc.m Helsinki, Finland) conforme Figura 2, que forneceu os valores de temperatura e umidade relativa do ar, para serem utilizados como referência no processo de calibração dos sensores construídos.



(a)



(b)

Figura 2 - Termohigrômetro instalado em seu suporte (A) e termohigrômetro em seu desenho esquemático (B).

3.2.2 Sensor de Radiação Solar

O sensor de radiação solar global (LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR, Inc.) conforme a Figura 3, que forneceu os valores da radiação solar total recebida, para ser utilizado como referência no processo de calibração dos sensores construídos.



Figura 3 - Piranômetro (LI-200SA) que fornece a radiação solar incidente.

3.2.3 Datalogger (CR10X-Campbell)

O Datalogger CR10X (Figura 4a) é um coletor de dados, sendo programável e construído em um módulo metálico de alta rigidez mecânica e elétrica. O acesso à programação e controle é feito através de periféricos, como módulo de teclado/display CR10KD (Figura 4b) ou via comunicação serial (interface ou modem) com o auxílio de um computador.

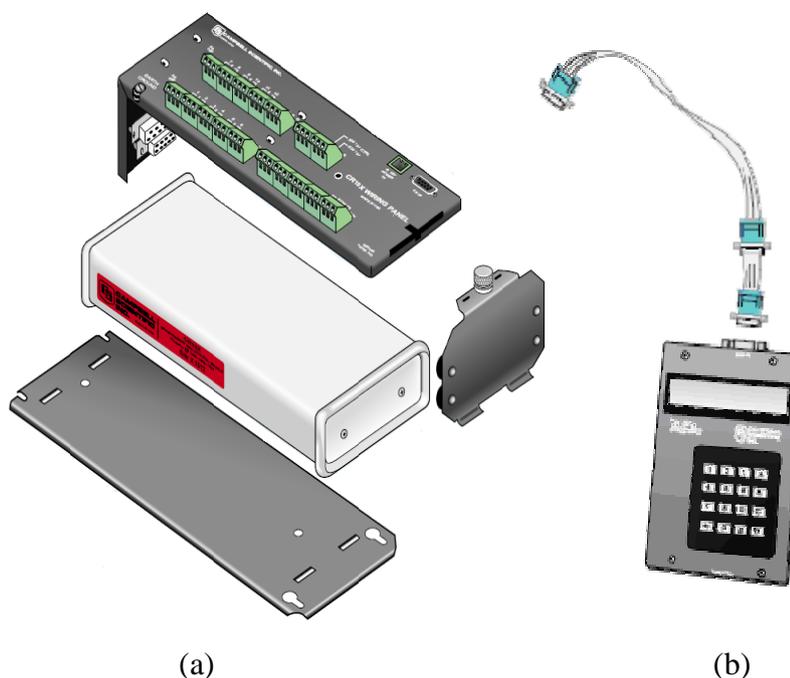


Figura 4 - Visão das partes do Datalogger (a) e do seu periférico teclado/display (b).
(Manual do CR10X, 2010)

O Datalogger tem por finalidade armazenar informações de sensores conectados aos seus terminais. O processo de aquisição de dados pode ser obtido,

As letras H e L se referem às entradas de sinais, identificados como sinal alto (*high*) e sinal baixo (*low*) utilizado em canais diferenciais (DIFF) de 1 a 6. Nas leituras diferenciais, a tensão analógica é medida de uma entrada H em relação a sua respectiva entrada L, formando um “canal diferencial”. Para medidas do tipo absoluto ou “*single ended*” (SE), cada uma das entradas H ou L é considerada um canal independente, que mede as tensões com relação ao sistema terra analógico (AG).

Os canais SE são numerados seqüencialmente, sendo os canais 1 e 2 respectivamente os terminais H1 e L1, logo os canais 3 e 4 são o H2 e L2 e assim sucessivamente até os canais 11 e 12, que são o H6 e L6.

As saídas de excitação chaveadas (E1 a E3) fornecem tensões para multiplexadores, podendo alimentar divisores de tensão ou pontes resistivas em corrente AC ou DC.

As entradas de pulsos (P1 e P2) são usadas como leitores de tensão temporária. Estas entradas ou canais são utilizados para contar o número de ciclos por período de sinais do tipo pulsado, normalmente utilizado com anemômetros, pluviômetros, medidores de fluxo e fechamento de chave ou sinais alternados (senoidais).

As portas digitais de controle (C1 a C8) são utilizadas para medir o status de um dispositivo externo como testes de níveis lógicos digitais de tensão (*High / Low*). Elas também podem ser configuradas como saídas para controlar multiplexadores, sinal de referência de termohigrômetro e também outros periféricos. As Portas (C6 a C8) também funcionam como portas de pulsos.

O Datalogger é alimentado por uma fonte de 12VCC, operando entre 9,6V a 16VCC. Os terminais adicionais de 12V e G podem ser usados como fonte de alimentação para outros periféricos. O terminal de 12V chaveado (SW 12V CTRL) pode ser “ligada” ou “desligada” de acordo com o programa de controle.

Os dois terminais de 5V fornece saída de tensão com tolerância de $\pm 0.2\%$ para alimentação de periféricos externos, interfaces ou alguns tipos de sensores que trabalham nesta faixa de tensão (em geral, circuitos eletrônicos digitais). Possui um limite de corrente de 200 mA.

A conexão ao aterramento é utilizada para proteção do Datalogger e os

sensores contra descargas eletrostáticas.

A comunicação com o Datalogger é feita através de sua porta serial, do tipo DB9 de 9 pinos, com qualquer equipamento que suporte tal método, como módulo de memória, teclado/display, ou através de interfaces específicas para computador.

3.2.3.2 Software

O fabricante fornece uma ferramenta de desenvolvimento proprietária para a confecção dos sistemas que serão executados no Datalogger. O CR10X trabalha com os softwares para desenvolvimento PC208W e LOGGNET, executável em ambiente Windows, sendo compatíveis com padrão de arquivos CSV¹.

3.3 EQUIPAMENTOS CONSTRUÍDOS

3.3.1 Sensor de Radiação Solar

Para construção do sensor de radiação solar foi utilizado uma célula fotovoltaica retirada de uma calculadora. A célula é constituída de três pequenos módulos de 0,9 x 0,6 cm ligadas em série, montada em um cilindro de alumínio com as seguintes dimensões 3,6 cm de diâmetro por 1,2 cm altura com uma janela de 0,6 cm de diâmetro por 1,2 cm de profundidade, localizada no topo do cilindro na parte central que tem por finalidade permitir a passagem da radiação solar.

O encapsulamento do sensor foi elaborado baseado no sensor de radiação solar global modelo LI-200SA com a mesma abertura, de forma a constituir um colimador, tendo na parte superior o mesmo formato.

Para vedação e proteção contra poeira, umidade foi construído um disco de acrílico translúcido leitoso com as mesmas dimensões do modelo na parte superior do cilindro com dimensão de 0,6 cm de diâmetro 0,3 cm de altura.

¹ Sistema de arquivo separado por ponto e vírgula.

Na base do invólucro cilíndrico foi fixado o centro do módulo da célula fotovoltaica, e um tampão para vedação e condução dos terminais do sensor.

Seus terminais foram soldados a um cabo de telefone de categoria 4 de 50 cm de comprimento, possuindo dois pares metálicos e um conector RJ-11 em sua extremidade, que será conectado ao Datalogger.

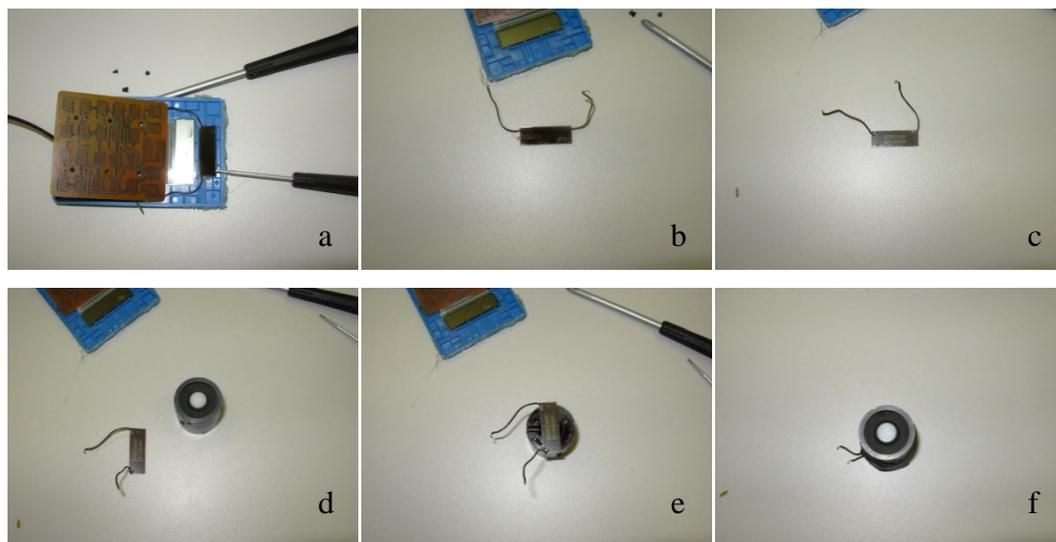


Figura 6 - Processo de remoção da célula fotovoltaica (Neves, G.A.R., 2010).

3.3.2 Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A temperatura e umidade relativa do ar foi medida utilizando um sensor termohigrômetro (Figura 7) (SHT75, Sensirion AG, Zurich, Suíça). A seleção deste sensor foi baseada em diversos fatores: tamanho adequado para acomodá-lo em pequeno compartimento de proteção; precisão igual ou superior à maioria dos sensores comerciais; possui uma interface digital, usada no processo de obtenção dos dados, esse fator elimina alguns problemas de ruído associado a outros sensores que não são digitais; possui sensores individuais de temperatura e umidade relativa do ar, porém no mesmo encapsulamento. O sensor consiste de um PTAT bandgap (proporcional a temperatura absoluta) para temperatura do ar e um elemento sensor capacitivo para umidade relativa do ar.

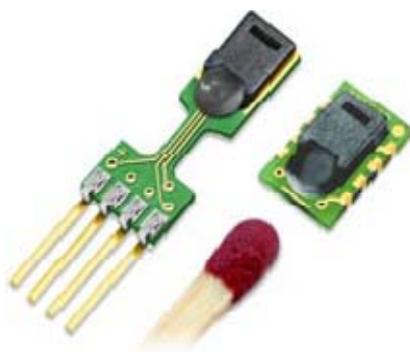


Figura 7 - Sensor SHT75 indicação da proporcionalidade entre as dimensões dos sensores e um palito de fósforo.

3.3.3 Proteção dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

O sensor, sendo sensível a poeira e umidade, foi colocado em uma caixa ventilada (Figura 8) com filtro poroso e dentro de um abrigo termométrico, evitando radiação direta.



Figura 8 - Acomodação do elemento sensor SHT75 em caixa ventilada (Neves, G.A.R., 2010)

Para que os sensores de temperatura e umidade relativa do ar (SHT75), não sofram com a exposição do tempo, como chuva, poeira, ataque de insetos ou outro agente interferidor, os mesmos foram soldados a uma placa de circuito impresso de fenolite de face simples, com dimensão de 2 x 2,5 cm, e conectado a um cabo de telefone de categoria 4 de 50 cm de comprimento, possuindo dois pares metálicos e um conector RJ-11 em sua extremidade (Figura 8) que foi conectado ao Datalogger.

A placa de circuito impresso e o sensor, foram acomodados no interior de uma caixa de PVC de tamanho 5 x 3,3 x 0,5 cm e fixado com cola quente no verso da placa para evitar movimentação mecânica.

Dessa forma, conseguindo mobilidade e agilidade, tanto na instalação do sensor como em sua substituição.

3.3.4 Abrigo dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Em conformidade com as normas da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), os sensores meteorológicos devem ser protegidos contra a radiação solar direta e devem ter um sistema que permita a ventilação e a dissipação do calor, para que os valores obtidos representem o ambiente local.

Considerando esses requisitos, foi utilizado como referência a Estação meteorológica (Figura 9) da Davis Instruments modelo 6152 que possui um abrigo de proteção dos seus sensores de temperatura e umidade relativa do ar, constituídos por discos de PVC (Figura 10) sobrepostos com um espaçamento de 1,7 cm entre eles, e uma cavidade na parte central dos discos para acomodação dos sensores.



Figura 9 - Estação meteorológica comercial (Neves, G.A.R., 2010)



Figura 10 - Discos de PVC da estação meteorológica comercial

(Neves, G.A.R., 2010)

De maneira análoga, foi construído um abrigo utilizando cinco pratos quadrados com bordas arredondadas, de PVC de cor branca e dimensões 7 x 7 e 2,9 cm de profundidade, sustentados por duas barras galvanizadas roscadas de 16 cm de tamanho e 0,4 cm diâmetro, de modo a fixar os pratos sobrepostos mantendo um espaçamento de 1,7 cm entre si, de forma semelhante ao modelo (Figura 11).

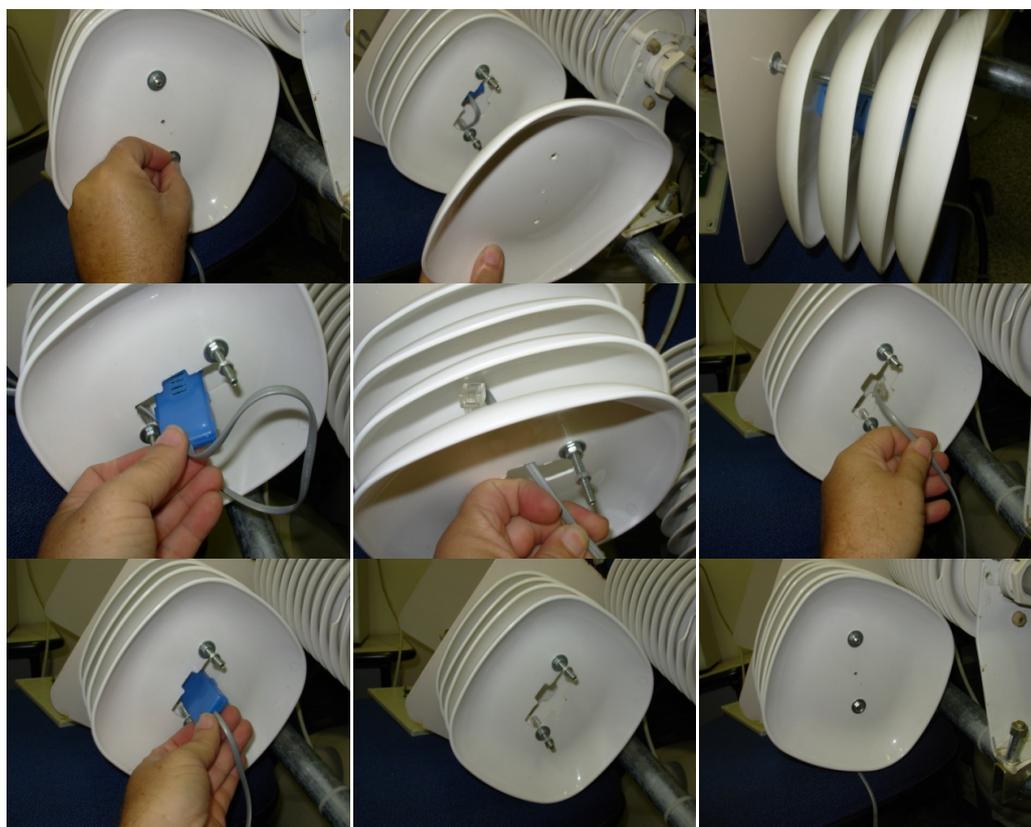


Figura 11 - Acomodação do conjunto elemento sensor SHT75 e caixa ventilada em abrigo termométrico protótipo (Neves, G.A.R., 2010)

3.3.5 Equipamento de Aquisição de Dados

Para a construção do Equipamento de Aquisição de Dados foi desenvolvido um Datalogger, contendo um microcontrolador, uma memória para armazenamento de dados, um relógio de tempo real e uma saída de comunicação serial padrão RS-232, tendo a sua forma de composição representada pelo diagrama da Figura 12.

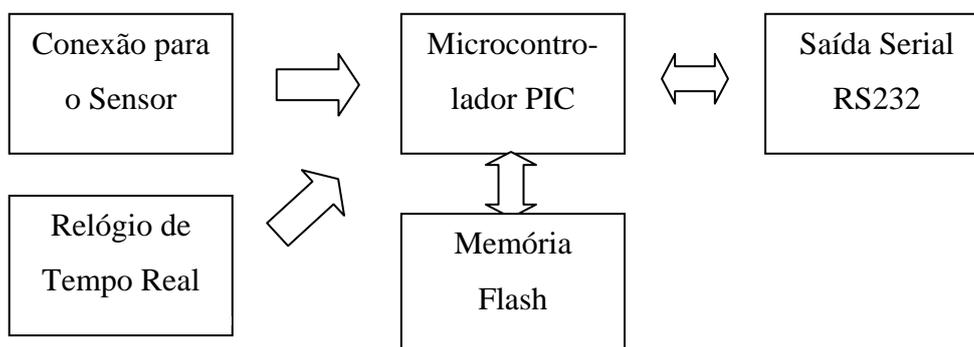


Figura 12 - Diagrama esquemático dos principais elementos do Datalogger. (Neves, G.A.R., 2010)

Foi utilizado o microcontrolador modelo PIC 16F876A, por se tratar de um componente de baixo custo relativo, possuidor das características necessárias que atendem as necessidades do projeto. Ele possui 8 portas de conversão A/D até 10 bits de resolução. Possui portas que facilitam a implementação do protocolo de comunicação I²C que é compatível ao sistema de comunicação entre sensor de temperatura e umidade relativa do ar abordado neste trabalho. Internamente possui uma memória flash de 256KB capaz de armazenar o firmware e uma memória de 368KB capaz de armazenar informações de processamento. Possui ainda uma saída de comunicação padrão TTL.

Foi utilizado um circuito integrado de relógio de tempo real, conhecido popularmente como circuito integrado de *real-time*, modelo DS1307, alimentado por uma pilha de 3V, modelo CR2032, gerenciado por um oscilador de cristal independente a 32.768 KHz

Quanto a memória de armazenamento externo, foi utilizado uma do tipo Flash modelo 24LC256 com capacidade de 256KB, funcionando como uma memória

exclusiva para os dados processados.

Para a comunicação do Datalogger com os sensores, foi utilizado um conector RJ-11 do tipo fêmea, e para a comunicação e *upload* dos arquivos para um computador, foi utilizado um circuito integrado, padrão RS-232, do tipo MAX232.

3.3.5.1 Firmware do Datalogger

Tratando de um microcontrolador, que contém componentes externo a ele, é importante para seu funcionamento, dispor de um programa em sua memória interna para ajustar e configurar seus dispositivos de forma a tratar os sinais de entrada e saída de maneira automática, podendo ser interrompido por comandos gerados pelo operador.

Estes conjuntos de informações definem como irão funcionar suas portas de entradas e saídas (I/O), o seu tempo de resposta aos comandos e a forma de tratamentos desses sinais.

Para tanto, com auxílio de um compilador da linguagem C e de bibliotecas do microprocessador, são compilados os comandos e instruções, gerando como resultado, um arquivo do tipo hexadecimal, denominado *firmware*.

Através de um gravador compatível com o chip PIC16F876A é possível enviar e armazenar um programa, este deve estar em linguagem de máquina (ARQUIVO HEX) na memória flash interna do microprocessador, em endereço predefinido pelo fabricante.

Para a caracterização do funcionamento do *firmware* do Equipamento de Coleta de Dados foi utilizado o fluxograma (Figura 13) a fim de estabelecer as ordens e métodos de execução.

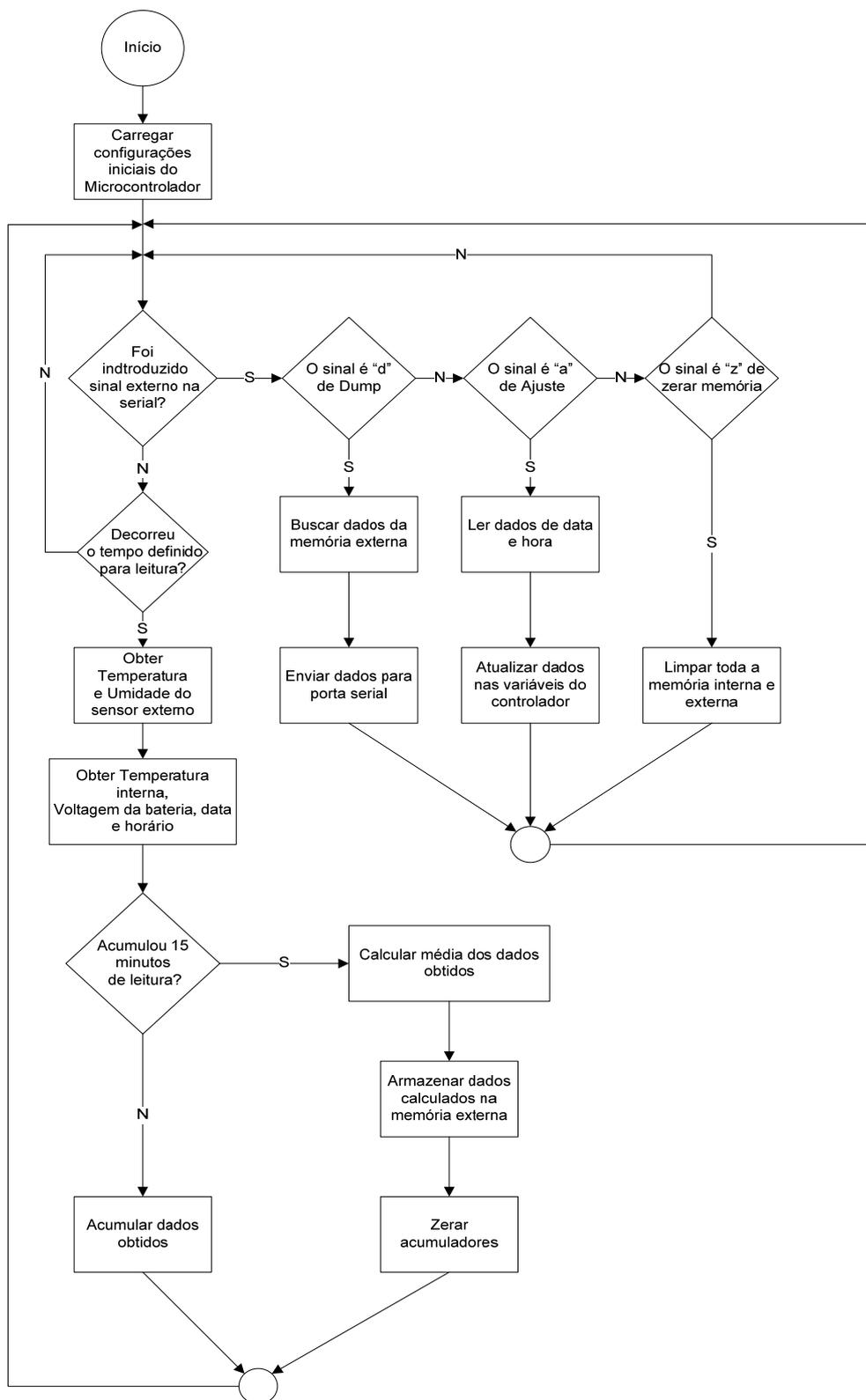


Figura 13 - Fluxograma esquemático dos processos necessários ao funcionamento do sistema (Neves, G.A.R., 2010).

3.3.5.2 Programas utilizados na criação do Datalogger

3.3.5.2.1 O compilador PCWH

O *software* utilizado no desenvolvimento e compilação do *firmware* (Anexo A) foi o PCWH Compiler (Figura 14) versão demonstração 4.120 da Custom Computer Services. Inc.(CCS), que é executado na plataforma Windows, com no mínimo 2GB de memória RAM e 10GB de disco rígido.

Este compilador é compatível com a linguagem de programação C para o microcontrolador PIC, tem como característica possuir diversas ferramentas como: monitoramento de memória RAM e ROM alertando o quanto foi utilizado, integração com outros aplicativos como o MPLAB, debug, desassemblador e outros.

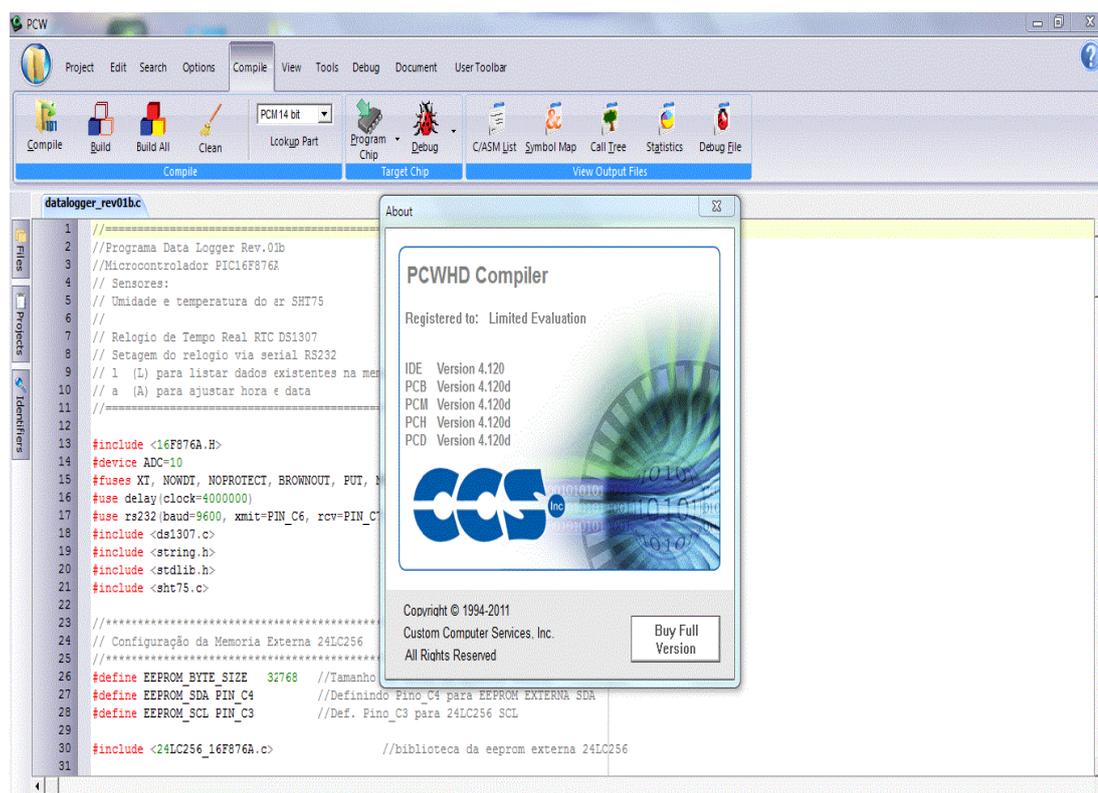


Figura 14 - Interface do compilador PCWH da CCS (Neves, G.A.R., 2010).

3.3.5.2.2 O Programa Sprint Layout

O software para desenvolvimento do layout do circuito impresso utilizado foi o Sprint Layout (Figura 15) da Abacom Ingenieurgesellschaft Wittekindstr, versão 5.0, que é executado na plataforma Windows, com no mínimo 32MB de memória RAM e 20GB de disco rígido. Trata-se de um programa para desenhar circuitos impresso e cujo desenho será transferido para placa de fenolite cobreado ou fibra de vidro cobreado a fim de criar os sistemas de ligações elétricas entre os componentes, resultando no layout Figura 16 e no equipamento da Figura 17.

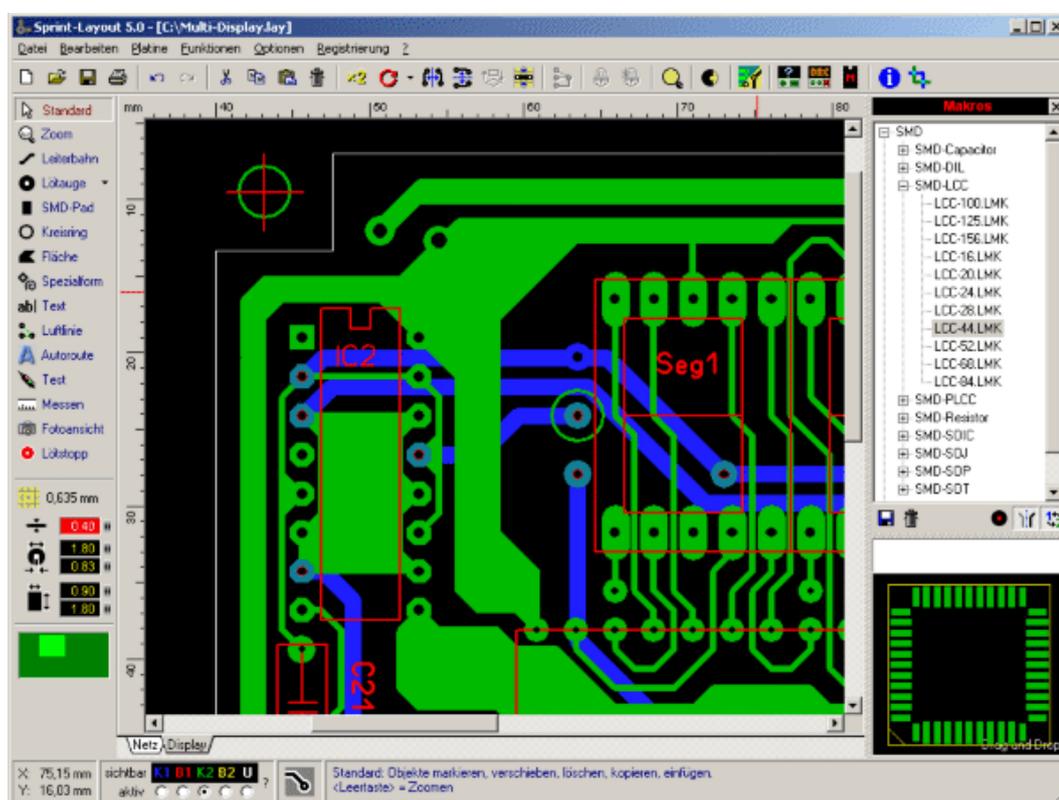


Figura 15- Interface do programa para desenvolvimento do circuito impresso.

3.3.5.2.3 Processo de gravação do firmware no microcontrolador

O hardware gravador (Figura 18) utilizado como conexão física para envio do *firmware* ao microcontrolador foi o EasyPIC3 da MikroElectronica.

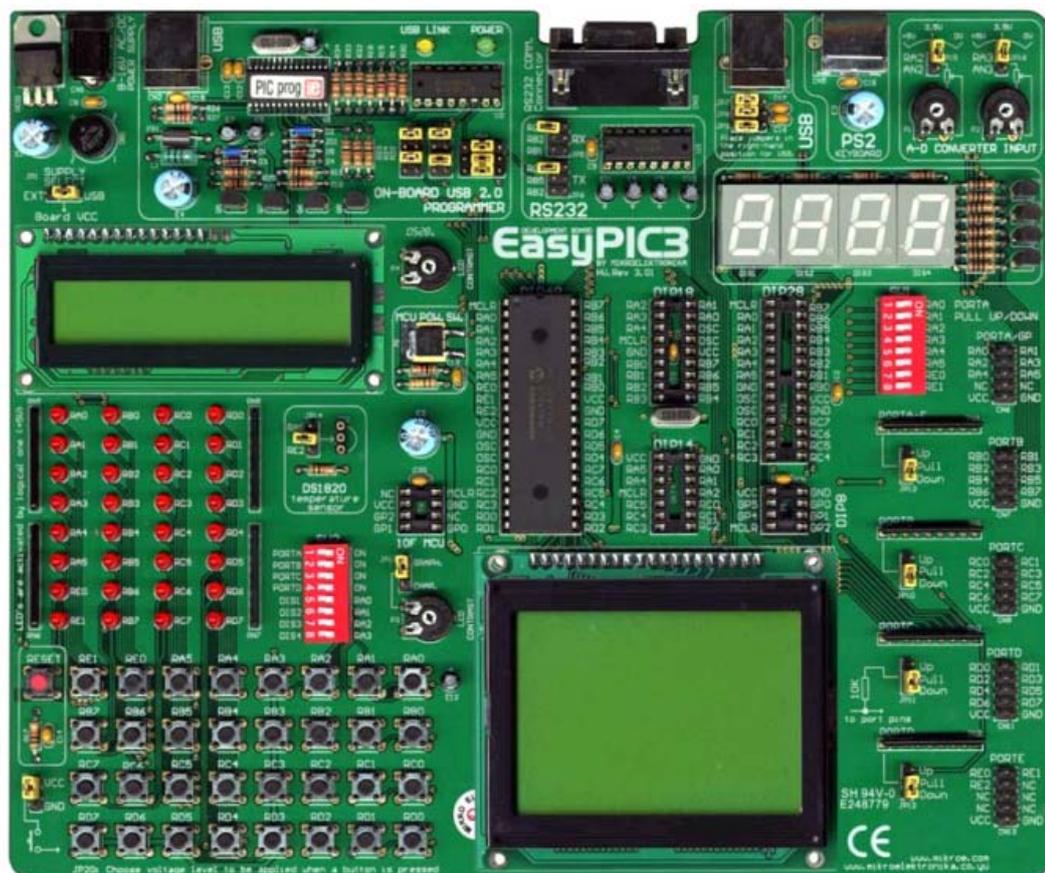


Figura 18 - Conexão física para envio do firmware ao microcontrolador foi o EasyPIC3 da MikroElectronica

O software para envio do firmware para o microcontrolador utilizado foi o IC-Prog (Figura 19) do autor Bonny Gijzen, versão 1.6B, que é executado na plataforma Windows, requerendo no mínimo 8MB de memória RAM e um processador 386. Este aplicativo permite a programação de circuitos integrados do tipo serial.

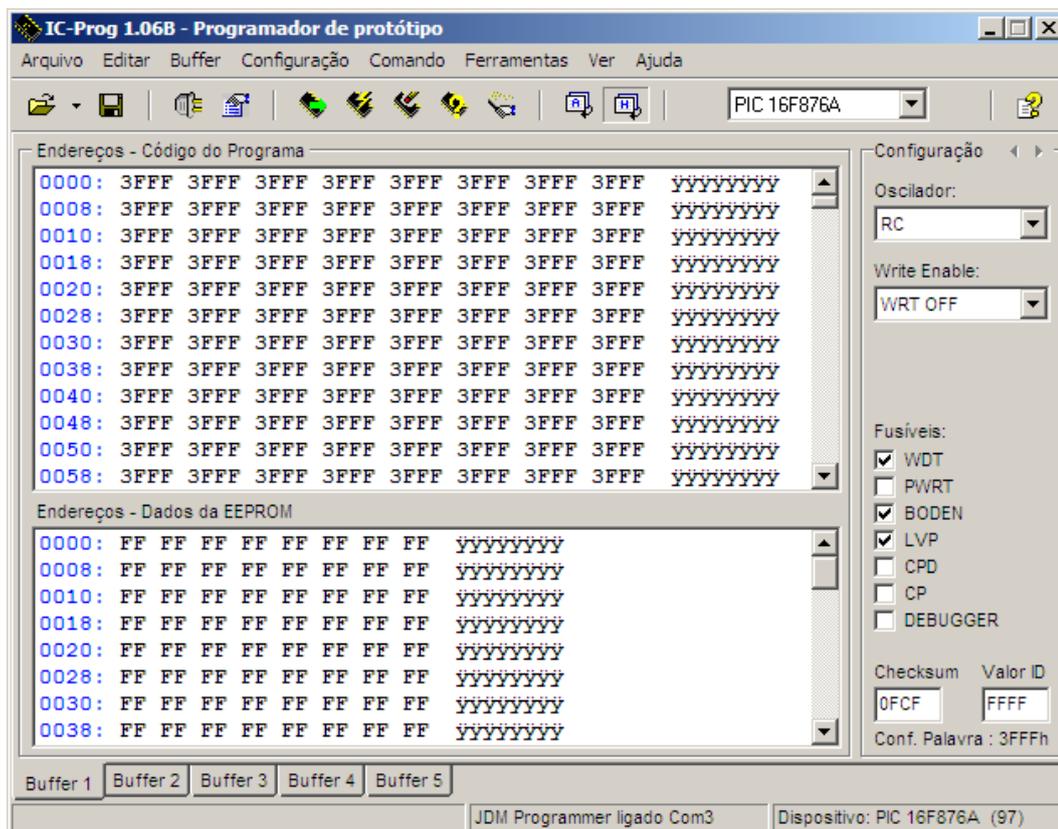


Figura 19 - Software para envio do firmware para o microcontrolador IC-Prog (Neves, G.A.R., 2010).

3.3.5.2.4 Software utilizado na recuperação de dados

A leitura dos dados gravados na memória flash é feita com o auxílio de um programa freeware (programa livre) Terminal v1.9b, é um pequeno aplicativo executável ocupando aproximadamente 300KB de memória RAM sem a necessidade de ser instalado, sendo utilizado na plataforma Windows.Figura 20.

Programa de emulação de terminal pode ser usado para comunicação de diferentes dispositivos, como modems, roteadores, sistemas embarcados microcontrolados, telefones GSM entre outros por uma simples porta serial (COM). Sendo também muito útil como ferramenta de depuração para aplicativos de comunicação serial.

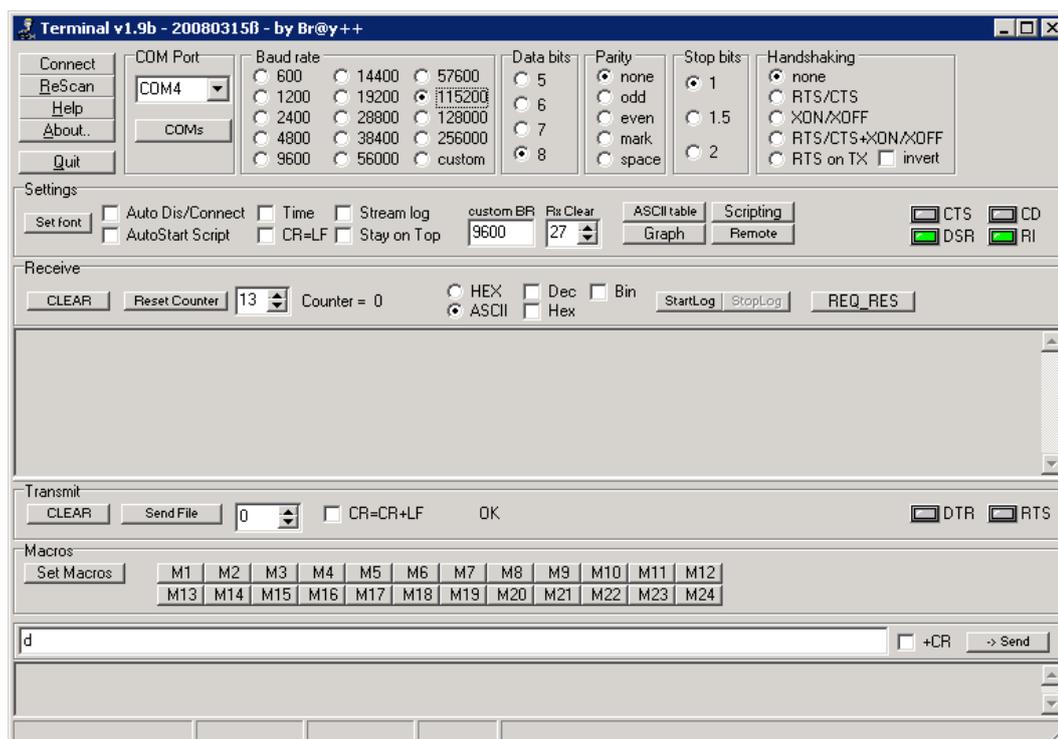


Figura 20 - O Software para a leitura dos dados gravados na memória flash - Terminal v1.9b (Neves, G.A.R., 2010).

3.4 Calibração de Sensores

A calibração do protótipo da estação micrometeorológica automática foi realizada colocando os sensores protótipo nas mesmas condições que dos sensores comerciais novos, com coeficientes de calibração conhecidos (Figura 21). A temperatura e umidade relativa do ar do protótipo foram calibradas utilizando um termohigrômetro (HMP45C, Campbell Sci, Inc., USA). A leitura e armazenamento dos sinais fornecidos pelos sensores protótipos foram realizados pelo datalogger do circuito desenvolvido, e dos sensores comerciais foi realizada por um datalogger (CR10-X, Campbell Sci, Inc., USA).



Figura 21- Sensor protótipo à esquerda sensor de referência à direita, em cada foto.
(Neves, G.A.R., 2010).

A determinação do coeficiente de calibração do termohigrômetro protótipo e comercial foram realizadas por regressão linear simples, sendo no eixo das abscissas o sinal dos sensores protótipos e nas ordenadas, o sinal dos sensores comerciais. A sensibilidade de cada sensor protótipo foi determinada pela Equação (1).

$$K_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{S_p}{S} K \quad (1)$$

Em que K_p é a sensibilidade dos sensores protótipos, S_p é o sinal gerado pelos sensores protótipos (mV), S é o sinal gerado pelos sensores comerciais (mV), N é o número de observações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados obtidos através das medições realizadas pela estação micrometeorológica automática sob a ótica da temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar.

4.1 TEMPERATURA DO AR

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes as características de sensibilidade do termohigrômetro protótipo quanto a temperatura do ar (K_t), coeficientes angular (a), coeficientes linear (b) e de determinação da relação (R^2) entre as medidas da temperatura do ar do termohigrômetro de referência e do protótipo, em que se teve como resultado a equação: $Y=1.016319086X - 0.62834062$ (Figura 22) e seus resultados estatísticos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Característica de sensibilidade do termohigrômetro protótipo e a relação entre as medidas da temperatura do ar do termohigrômetro de referência e do protótipo.

Características	Valores
K_t	0.01064444
a	-0.62834062
b	1.016319086
R^2	0.9997414249

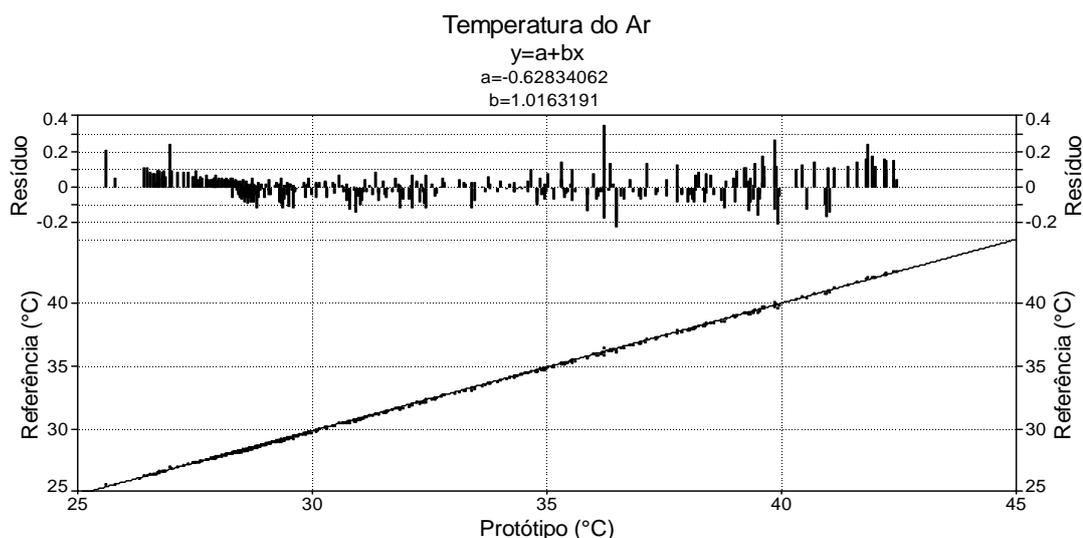


Figura 22 - Relação entre temperatura do ar do termohigrômetro de referência e o termohigrômetro protótipo.

Tabela 2 - Parâmetros da equação de regressão da Temperatura do Ar com o valor do erro padrão, teste t, limite de confiança e graus de significância

Parâmetro	Valor	Erro Padrão	t	95% limite de confiança		P> t
a	-0.62834062	0.025614637	-24.5305302	-0.67868609	-0.57799515	0
b	1.016319086	0.000788216	1289.391333	1.01476985	1.017868321	0

Observa-se que o sensor protótipo tem um ajuste satisfatório em relação ao sensor de referência, pois o coeficiente linear aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação (R^2) explica 99.95% dos dados observados. Este coeficiente de determinação é definido como o quadrado do coeficiente de correlação dos dados. Em uma regressão linear, como utilizado na análise de dados, este coeficiente representa a proporção da variação total (ou variância) que pode ser explicada pela relação linear existente entre os dados obtidos pelo sensor protótipo e o sensor de referência. (BALAKRISHNAN, N. *et al.*, 2005)

Para interpretar estes dados, podemos converter essa proporção em porcentagem. Por exemplo, no gráfico da Figura 22, temos um coeficiente de determinação 0.9997414249, isso representa que $(0.9997414249)^2 \times 100 = 99.95\%$ da variação do sensor protótipo é devida a relação linear existente entre ele e o sensor de referência. O resto desta variação é devido a outros fatores, e é chamado de erro experimental.

4.2 UMIDADE RELATIVA DO AR

Na Tabela 3 são apresentados os resultados referentes as características de sensibilidade do termohigrômetro protótipo quanto à umidade relativa do ar (K_{ur}), coeficientes angular (a), coeficiente linear (b) e de determinação da relação (R^2) entre as medidas da umidade relativa do ar do termohigrômetro padrão e do protótipo, em que se teve como resultado a equação : $\ln Y = 0.020589415 + 0.997389984 \ln X$ coeficiente de determinação (R^2) explica 99.88% dos dados observados (Figura 23) e seus resultados estatísticos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 - Característica de sensibilidade do termohigrômetro protótipo e a relação entre as medidas da umidade relativa do ar do termohigrômetro de referência e do protótipo.

Características	Valores
K_{ur}	0.114585029
a	0.020589415
b	0.997389984
R^2	0.9993931133

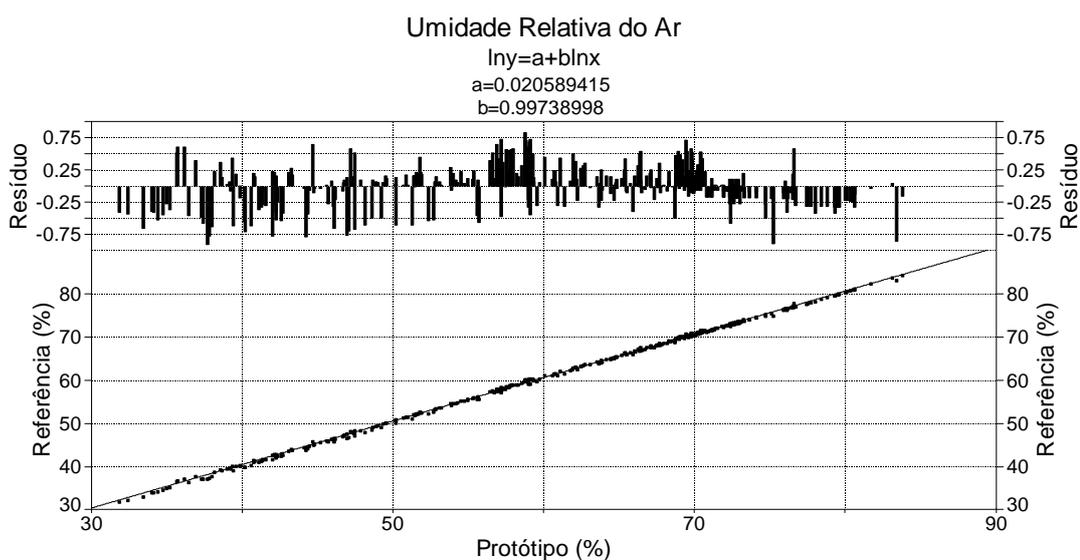


Figura 23 - Relação entre sensor de umidade relativa de referência e o sensor de umidade relativa protótipo.

Tabela 4 - Parâmetros da equação de regressão da Umidade Relativa do Ar com o valor do erro padrão, teste t, limite de confiança e graus de significância

Parâmetro	Valor	Erro Padrão	t	95% limite de confiança	P> t
a	0.020589415	0.005551269	3.708956759	0.00967856	0.03150027
b	0.997389984	0.001328389	750.8267342	0.994779074	1.000000893

4.3 RADIAÇÃO SOLAR

Na Tabela 5 são apresentados os resultados referentes as características de sensibilidade do sensor de radiação solar protótipo quanto à insolação (K_i), coeficiente angular (a), coeficiente linear (b) e de determinação da relação (R^2) entre as medidas do sensor de radiação solar de referência e do protótipo, em que se teve como resultado a equação : $\ln Y = 0.9749835 \ln X - 2.9113018$ coeficiente de determinação (R^2) explica 99.96% dos dados observados (Figura 24) e seus resultados estatísticos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Característica de sensibilidade do sensor de radiação solar protótipo e a relação entre as medidas do sensor de radiação solar de referência e do protótipo.

Características	Valores
K_i	0.990332
a	-2.91130177
b	0.974983503
R^2	0.9997884503

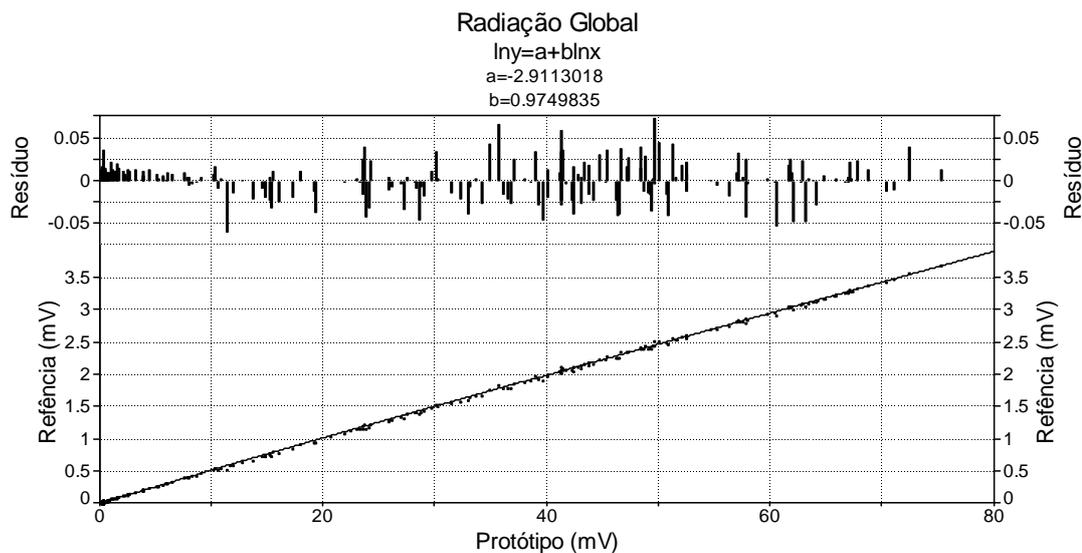


Figura 24 - Relação entre sensor de radiação solar de referência e o sensor de radiação solar protótipo.

Tabela 6 - Parâmetros da equação de regressão da Radiação Global com o valor do erro padrão, teste t, limite de confiança e graus de significância

Parâmetro	Valor	Erro Padrão	t	95% limite de confiança		P> t
a	-2.91130177	0.006854395	-424.735034	2.92477388	-2.89782966	0
b	0.974983503	0.00173405	562.2581148	0.97157528	0.978391727	0

5 CONCLUSÕES

O sensor de temperatura do ar obteve coeficiente de determinação (R^2), que explica 99,95% dos dados observados. Para o sensor de umidade relativa do ar obteve-se uma relação entre sensor protótipo e sensor de referência (R^2), que explica 99,88% dos dados observados. O sensor de radiação solar obteve o valor de (R^2), que explica 99,96% dos dados obtidos.

Os resultados obtidos indicam que a solução de baixo custo para desenvolvimento de uma estação micrometeorológica e com grande versatilidade para diversas condições de campo.

O sistema de armazenamento de dados automatizado foi aprovado e pode ser utilizado para automatizar qualquer outro tipo de sensor ou sistemas.

Os testes realizados com sensores de temperatura, umidade relativa do ar e radiação, mostram que o sistema possui uma excelente linearidade.

Com este trabalho a construção dos sensores, bem como a do Datalogger, para realizar as coletas das medidas de temperatura e umidade relativa do ar e da radiação solar foi próximo aos resultados obtidos dos sensores, coleta e armazenadores de dados de equipamento comerciais. Quanto ao sistema de proteção do sensor de umidade e temperatura, seu filtro poderá ser submetido a análise de filtragem do particulado e sua influência e tempo de substituição quando exposto em áreas urbanas e locais livres de particulados provenientes de fuligens e outros em cidades comparadas ao campo.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros com o mesmo encapsulamento do sensor de radiação solar com testes controlados para outras faixas de radiação como exemplo sensor de Radiação Fotossinteticamente Ativa

Sistema de transmissão de dados acoplado ao sistema de coleta de dados possibilitando transmissão de dados a distância.

Monitoramento remoto de um número maior de estações micrometeorológicas, considerando o baixo custo.

Desenvolvimento de outros sensores a serem implementados na estação micrometeorológica incorporando maior número de canais e adoção de conversores analógicos digitais dedicados de maior precisão.

6 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

BALAKRISHNAN, N. et al. **Encyclopedia of statistical sciences**. 2 ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 2005. 9518p.

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

BIUDES, M.S. **Balço de Energia em área de vegetação monodominante de camará e pastagem no norte do pantanal**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em agricultura tropical) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

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

DOEBELIN, E. O. **Measurement Systems Application and Design, Mechanical Engineering Series**. 4. Ed. EUA, Mcgraw-Hill, 1990.

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

GARRISON, J. D.; ROEDER, S. B.W. **Environmental Measurent**. 2000, Disponível em www.engnetbase.com, assesado em janeiro de 2011.

GÜTHS, S., De PAULO, V. **Instrumentação em Ciências Técnicas**.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.

KESTER, W.; **Power and Thermal Management Design Techniques**. Seção 2.

Analog Device. 2004.

YAMASOE, M. A.; **Apostila da Dicipлина Meteorologia Física II**. Disponível : www.dca.iag.usp.br/www/material/akemi/fisicaII/apostila_cap_01.pdf . Acesso em: 11 fev. 2011.

MONTEITH, J. L.; **Agricultural Meteorology: evolution and application**. Agricultural and Forest Meteorology 103, 2000, 5-9.

MOREIRA, M. A.; **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. Ed. Viçosas: UFV. 2007, 307p.

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.; MARCELO, L. A. **Guia para o Observador dos Postos Agrometeorológicos do Instituto Agrônômico**. São Paulo SP. Boletim Técnico n. 116, 1987. 59p.

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

SEIXAS, G. B. **Determinação da Transpiração em Plantas de Nim Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) Utilizando Métodos de Estimativa de Fluxo de Seiva**. 2009. 71f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

SENSIRION AG. SHT 75 Datasheet. Disponível em www.sensiron.com, acessado em janeiro de 2011.

SILVA, J. G.; **Monitoramento e Controle de Umidade e Temperatura em Secadores de Massa Alimentícias**. 2009. 67f. Dissertação (Mestrado) Análise e

Controle de Processos Químicos) Escola de Engenharia Mauá, Centro Univercitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul SP, 2009.

SPÍNOLA, M. M. **Transdutores**. EPUSP, 2005, Apostila.

VAREJÃO, M. A., **Meteorologia e Climatologia**. Recife, Versão Digital 2, 2006.

ANEXO

A - CÓDIGO DO FIRMWARE

```

#include <config_16F876A.c>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#define use_portb_lcd TRUE           //utilizar a port b para lcd
#include <lcd_16f876A.c>             //biblioteca para DISPLAY LCD
#include <sht75_16F876A.c>
#include <ds1307_16F876A.c>

// Declaração de Variáveis Globais

long int Endereco=0,k=0, Adress=0,Ultimo_Endereco,Adress_leitura;    // Endereço de memória a ser escrito.

int i,j=0,disp_Opcao,g=0; // Variável para controle do loop de Leitura e Escrita.
float soma_restemp,soma_truehumid,soma_voltBat,soma_temp_interna,valor,temp_inter,rad_global,soma_rad_global;

#include <conv_AD_16F876A.c>

int8 Dispositivo = 0;    // Endereço do dispositivo escravo a ser escrito (1 a 7).

unsigned char dia, mes, ano,sec,min,hour,date,month, year ;    //variáveis para receber dados

byte menu=0;    //variables para menu configurar

void gravatudo(int8 Dispositivo,long int Adress, unsigned char date, unsigned char month, unsigned char year,
unsigned char hour, unsigned char min, float soma_restemp, float soma_truehumid,
float soma_voltBat, float soma_temp_interna, float soma_rad_global){

    write_ext_eeprom(Dispositivo,Adress+0,date);
    write_ext_eeprom(Dispositivo,Adress+1,month);
    write_ext_eeprom(Dispositivo,Adress+2,year);
    write_ext_eeprom(Dispositivo,Adress+3,hour);
    write_ext_eeprom(Dispositivo,Adress+4,min);
    WRITE_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress+5, soma_restemp);
    WRITE_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress+9, soma_truehumid);
    WRITE_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress+13, soma_voltBat);
    WRITE_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress+17, soma_temp_interna);
    WRITE_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress+21, soma_rad_global);
    write_float_eeprom(0,Adress+25);

}

void ler_tudo(long int Adress_leitura){
printf("\n\r%2X",read_ext_eeprom(Dispositivo,Adress_leitura+0));
printf(" %2X",read_ext_eeprom(Dispositivo,Adress_leitura+1));
printf(" %2X",read_ext_eeprom(Dispositivo,Adress_leitura+2));
printf(" %2X",read_ext_eeprom(Dispositivo,Adress_leitura+3));
printf(" %2X",read_ext_eeprom(Dispositivo,Adress_leitura+4));
printf(" %3.1f",READ_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress_leitura+5));
printf(" %3.1f",READ_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress_leitura+9));
printf(" %3.2f",READ_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress_leitura+13));
printf(" %3.1f",READ_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress_leitura+17));
printf(" %3.1f",READ_FLOAT_EXT_EEPROM(Dispositivo,Adress_leitura+21));

}

void descarregar(long int Adress_leitura){

```

```

        Ultimo_Endereco=28000;
        for(Adress_leitura=0;Adress_leitura<Ultimo_Endereco;Adress_leitura=Adress_leitura+25){
ler_tudo(Adress_leitura);
        }
        Adress=(long int)read_float_eeprom(0);
}

#include <set_hora_data.c>
input_a(PORT_A5);
input_c(PORT_C0,PORTC_C1);

main(void) {

//INICIALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS

float restemp, truehumid;

// lcd_init();           // Inicializa lcd
sht_init();             // Inicializa Sensor Temp_RH_SHT75
init_DS1307();          // initial DS1307
init_ext_eeprom();     // Inicializa EEPROM

//=====
setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_64); // Prog. TMR0 Clock Int com Div por 64
setup_ccp1(CCP_OFF);           // Desliga CCP1 (garantindo o desligamento)
setup_ccp2(CCP_OFF);           // Desliga CCP2 (garantindo o desligamento)
enable_interrupts(INT_TIMER0); // Habilita chave individual do timer0
enable_interrupts(INT_RDA);    // Trata dado recebido RS-232
enable_interrupts(GLOBAL);
//=====

    Adress = Endereco;

while(TRUE)
{

    sec=read_DS1307(0); // ler seg
    min=read_DS1307(1); // ler min
    hour=read_DS1307(2); // ler hora
    date=read_DS1307(4); // ler dia
    month=read_DS1307(5); // ler mes
    year=read_DS1307(6); // ler ano

    sht_rd (restemp, truehumid);

    // lcd_gotoxy(1,1);printf(lcd_putc, "%3.1f%% %2X:%2X %3.1f", truehumid, hour,min, restemp);
    printf("%3.1f%% %2X:%2X-%2X/%2X/%2X %3.1f\n\r", truehumid, hour,min,sec,date,month,year,restemp);

    if(g==1){

;
voltage();

        if (j==15){
soma_restemp=soma_restemp+restemp;
soma_truehumid=soma_truehumid+truehumid;
soma_voltBat=soma_voltBat+valor;
        soma_temp_interna=soma_temp_interna+temp_inter;

```

```

soma_rad_global=soma_rad_global+rad_global;
voltage(); //Grava dados Volts_Bat e Temperatura Interna na memoria eeprom externa float
j=0;
k++;
}

if (k==60){
soma_restemp=soma_restemp/60;
soma_truehumid=soma_truehumid/60;
soma_voltBat=soma_voltBat/60;
soma_temp_interna=soma_temp_interna/60;
soma_rad_global=soma_rad_global/60;

Adress=(long int)read_float_eeprom(0);

// gravatudo(Dispositivo,Adress,date,month,year,hour,min,soma_restemp,soma_truehumid,
// soma_voltBat,soma_temp_interna,soma_rad_global);

Ultimo_Endereco = (long int)read_float_eeprom(0);
printf("\rUltimo endereco gravado %Lu",Ultimo_Endereco);

soma_restemp=0;
soma_truehumid=0;
soma_voltBat=0;
soma_temp_interna=0;
soma_rad_global=0;

k=0;
}

g=0;
}
if (i == 1){
write_eeprom(5,k);
write_eeprom(10,j);
//configurar();
k=read_eeprom(5);
j=read_eeprom(10);
i = 0;
}
}

//=====Fim do while =====
return(0);
}

//=====Fim do Main=====
/* *****/
/* bcd_bin(dado, modo) */
/* Função para converter binário p/ BCD e BCD p/ binário.*/
/* Recebe dado e modo para conversão. */
/* Retorna o dado. */
/* *****/
unsigned char bcd_bin(unsigned char dado, modo) {

unsigned char lsb, msb;

restart_WDT();

```

```

if (!modo){          // converte de bcd para binário se Modo=0.
    lsb = dado & 0x0F; // isola nibbles
    msb = (dado & 0xF0)>>4;
    dado = msb * 10;
    dado = dado + lsb;
}
else{               // converte de binário para bcd se Modo=1.
    msb = ((dado / 10)<<4) & 0xF0;
    lsb = (dado % 10) & 0x0F;
    dado = msb | lsb;
}

restart_WDT();

return (dado);
}

//Armazena hora

void armazena_data_hora(){
    int set_hora,set_min,set_seg,set_dia,set_mes,set_ano;
char string[20],aux[6];
    /*,string2[10],string3[10],string4[10],string5[10],
        string6[10],string7[10],string8[10],string9[10],string10[10],
        string11[10],string12[10],string13[10],string14[10],string15[10],
string16[10];*/

    printf("Digite no formato hh:mm:ss-dd/mm/aa <ENTER> \n\r");

gets(string); //

    aux[0]=string[0];
    aux[1]=string[1];
aux[2]="\0";
    set_hora = atoi(aux);
aux[0]=string[3];
    aux[1]=string[4];
    aux[2]="\0";
    set_min = atoi(aux);
aux[0]=string[6];
    aux[1]=string[7];
    aux[2]="\0";
    set_seg = atoi(aux);
aux[0]=string[9];
    aux[1]=string[10];
    aux[2]="\0";
    set_dia = atoi(aux);
aux[0]=string[12];
    aux[1]=string[13];
    aux[2]="\0";
    set_mes = atoi(aux);
aux[0]=string[15];
    aux[1]=string[16];
    aux[2]="\0";
    set_ano = atoi(aux);

    printf("A data foi setada como: %i:%i:%i %i/%i/%i \n\r",set_hora,set_min,set_seg,set_dia,set_mes,set_ano);
// set_ano = atoi(strcat(string1[15],string1[16],string1[17],string1[18]));

    /*string3[0]=getc();
string4[0]=getc();

```

```

string7[0]=getc();
string8[0]=getc();
printf("%s%s%s%s\r",string3,string4,string7,string8);
string9[0]=getc();
string10[0]=getc();
string11[0]=getc();
string12[0]=getc();
printf("%s%s%s%s\r",string9,string10,string11,string12);
strcpy(string1,string3);
strcpy(string2,string4);
strcpy(string5,string7);
strcpy(string6,string8);

strcpy(string13,string9);
strcpy(string14,string10);
strcpy(string15,string11);
strcpy(string16,string12);

set_hora = atoi(strcat(string1,string2));
set_min = atoi(strcat(string5,string6));

set_dia = atoi(strcat(string13,string14));
set_mes = atoi(strcat(string15,string16));*/

write_DS1307(0,0x00); //Reset second to 0 sec. and start Oscillato

write_DS1307(2,bcd_bin(set_hora,1)); // escrever hora
write_DS1307(1,bcd_bin(set_min,1)); // escrever min
write_DS1307(0,bcd_bin(set_seg,1)); // escrever seg
write_DS1307(4,bcd_bin(set_dia,1)); // escrever dia
write_DS1307(5,bcd_bin(set_mes,1)); // escrever mes
write_DS1307(6,bcd_bin(set_ano,1)); // escrever ano
write_ds1307(0,sec & 0x7F); // enable oscillator(bit 7 = 0)
//restart_wdt();
}

/*****
**** Função para tratar a interrupção para dado recebido RS-232
**** Não recebe - Nada
**** Não retorna - Nada
*****/
#int_RDA
RDA_isr() {
if(getc()=='a')armazena_data_hora();
else if(getc()=='d')descarregar(0);

return(0);
}

//Tratamento da Interrupção do Timer0
#int_TIMER0

void Trata_TIMER0() {
static boolean led;
static int conta;
set_timer0(131-get_timer0()); // Timer0 carregado com (256-131) = 125
conta++; // 1/(1Mhz/64/125)=0,008ms, Uma interrupção a cada 8ms.

if(conta == 125) { // multiplicada pela variável conta=125*0,008= 1 Seg.
conta=0;
led = !led; // Esta interrupção controla o led verde, piscando
// output_bit(PIN_B3,led); // de 1 em 1 seg.
}
}

```

```
j++;  
if(j>15)j=0;  
g=1;  
}
```

```
if(input(PIN_C1)==0)  
{ i = 1;  
}  
  
}
```