Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola

Anderson Marcelli Palmieri

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Física do Ambiente Agrícola

Piracicaba
2009

Anderson Marcelli Palmieri
Licenciado em Ciências Exatas

Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola

Orientador:
Prof. Dr. **JARBAS HONORIO DE MIRANDA**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Física do Ambiente Agrícola

Piracicaba
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Palmieri, Anderson Marcelli
Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola / Anderson Marcelli Palmieri. - - Piracicaba, 2009.
100 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Agroclimatologia 2. Instrumento eletrônico 3. Instrumento de medida 4. Radiação solar terrestre 5. Softwares 6. Temperatura 7. Umidade atmosférica I. Título

CDD 630.2516
P179d

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

Dedico este trabalho

Aos meus pais Nelson Magaroni Palmieri e Dulce Palmieri, os quais sempre me deram todo apoio para que eu chegasse aqui, mesmo nos momentos mais difíceis souberam me entender e me apoiar, a eles o meu muito obrigado e minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à vida pela oportunidade que me fora concedida de poder aprender, e com isso aceitar e vencer novos desafios que me foram impostos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia Rural e Programa de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola, pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos e por todo o apoio oferecido.

Ao meu orientador Prof. Jarbas Honorio de Miranda, o qual depositou grande confiança em mim, mesmo nos momentos em que nem eu acreditava que fosse capaz.

Ao Prof. Sergio Oliveira Moraes, que disponibilizou sua sala com computador e ferramentas para a elaboração do projeto e permitindo que seu aluno de iniciação científica me auxiliasse nesta tarefa.

Ao Prof. Luiz Roberto Angelocci, pela prontidão e empenho em me ajudar nas situações de dificuldade e pelos conhecimentos passados.

Ao meu grande amigo Luciano Roberto da Silveira, o qual teve papel fundamental na elaboração do meu projeto, sem o qual este trabalho não seria possível de ser realizado.

A todos aqueles que se fizeram presentes nessa caminhada, professores, amigos, colegas e funcionários desta instituição, os quais de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar; é melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver..."

Martin Luther King

SUMÁRIO

RESUMO....11
ABSTRACT....13
LISTA DE FIGURAS....15
1 INTRODUÇÃO....17
2 DESENVOLVIMENTO....19
2.1 Elementos climáticos....19
2.1.1 Temperatura....20
2.1.1.1 Influências da temperatura no ambiente agrícola....20
2.1.1.2 Instrumentos e medidas da temperatura do ar....22
2.1.2 Umidade relativa do ar....24
2.1.2.1 Influências da umidade relativa do ar no ambiente agrícola....24
2.1.2.2 Instrumentos e medidas da umidade relativa do ar....25
2.1.3 Radiação solar....26
2.1.3.1 Influências da radiação solar no ambiente agrícola....26
2.1.3.1 Instrumentos e medida de radiação solar....28
2.2 Sistemas automatizados de medida e seus componentes....32
2.2.1 Sensores....34
2.2.1.1 Sensores de Temperatura....35
2.2.1.2 Sensores de umidade relativa do ar....37
2.2.1.3 Sensores de radiação solar....39
2.2.2 Microcontroladores....41
2.2.3 Armazenamento dos dados....41
2.3 Material e Métodos....42
2.3.1 Local do Experimento....42
2.3.2 Equipamentos eletrônicos utilizados (Sensores)....43
2.3.2.1 Sensor de Temperatura do ar....43
2.3.2.2 Umidade relativa do ar....44
2.3.2.2 Radiação solar....45
2.3.3 Microcontrolador....45

2.3.4 Armazenamento dos dados 46
2.3.5 Comunicação microcontrolador - módulo de gravação 47
2.3.6 Circuitos auxiliares 49
2.3.6.1 Temporizador 49
2.3.6.2 Regulador de tensão 50
2.3.6.3 Led indicador de funcionamento 51
2.3.7 Rotinas de programação e software para manuseio dos dados coletados 52
2.3.8 Coleta de dados 57
2.3.8.1 Instalação do equipamento em campo 57
2.3.8.2 Equações de calibração 58
2.3.8.2 Metodologia de análise dos dados coletados 60
2.4 Resultados e Discussão 61
2.4.1 Montagem do circuito eletrônico do Data-Basic 61
2.4.2 Programação do microcontrolador e software de análise de dados 63
2.4.3 Análise dos dados coletados 63
2.4.3.1 Estimativa de erro dos dados de temperatura 65
2.4.3.2 Estimativa de erro dos dados de umidade relativa do ar 69
2.4.3.3 Estimativa de erro dos dados de radiação solar 71
2.5.3 Custo e facilidades do equipamento 78
3 CONCLUSÕES 81
REFERÊNCIAS 83
ANEXOS 91

RESUMO

Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola

As variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar exercem grande influência sobre a produção agrícola, sendo capazes de ocasionar perdas durante o processo produtivo, acarretando em um aumento considerável no preço do produto final. Desse modo, a presente pesquisa teve por objetivo, desenvolver um sistema automatizado de baixo custo, tendo como base o microcontrolador "Basic Step 1", o qual gerenciou um circuito eletrônico capaz de coletar e armazenar dados das respectivas variáveis climáticas, em um dispositivo de memória flash com conexão USB (*"pen drive"*). Além disso, o equipamento conta com o Data Basic - Software, o qual foi elaborado de modo a permitir ao usuário a análise dos dados coletados, com fácil visualização, devido à sua interface gráfica, bem como seu manuseio pelo fato de estabelecer uma conexão com planilha eletrônica (EXCEL). Os resultados mostraram a viabilidade do uso do sistema automatizado (Data-Basic) o qual funcionou com regularidade e precisão ao coletar e armazenar o sinal de tensão contínua enviado pelos 3 sensores. Assim, os dados coletados pelos sensores de umidade relativa do ar e temperatura, HIH 4000 e LM35, respectivamente demonstraram-se confiáveis, evidenciando a viabilidade do uso do equipamento, embora o sensor de radiação solar tenha demonstrado fragilidade e necessidade de uma pré-calibração antes de sua instalação. O custo de montagem do equipamento foi cerca de 50% menor em relação aos "*data loggers"* portáteis e apresentou fácil manutenção, pois permite a troca de placas como a do Basic Step1 ou do módulo de gravação PenBS, sem contar que os sensores são externos o que facilita também sua substituição caso seja necessário. Desse modo, pôde-se concluir a viabilidade de utilização deste instrumento mediante o seu baixo custo de produção, porém para longos períodos de coleta, recomenda-se a utilização de uma bateria externa a fim de se evitar a perda de dados pela falta de energia da rede elétrica, além disso, durante o processo de instalação, devem ser tomadas precauções no sentido de evitar a oxidação dos sensores e erros de medida, que podem afetar diretamente a qualidade dos dados coletados.

Palavras-chave: Coleta automatizada de dados; Microcontrolador; Basic Step 1; PenBS; Variáveis climáticas

ABSTRACT

Development of a low-cost, automated system for collecting and storing climate data: applications in an agricultural environment

Climate variables such as air temperature, air humidity and solar radiation have a significant impact on agricultural yield. These variables affect the production process, and have a considerable influence on final product prices. The objective of this research, therefore, was to develop a low-cost, automated system, based on the “Basic Step 1” microcontroller, to collect and store climate data in a flash memory device with USB connection (pen drive). In addition, the system includes the Data Basic Software, developed to enable the user to visualize the data in a graphical user interface and to manipulate the data in a spreadsheet (EXCEL). The results demonstrated the viability of the automated system (Data-Basic), which worked with regularity and precision in measuring and storing continuous voltage signals from 3 sensors. The measured data from the air humidity and temperature sensors, HIH4000 and LM35, were reliable, showing the viability of the system, while the radiation sensor was fragile and required pre calibration before installation. The cost of mounting the equipment was approximately 50% of that of a portable data logger. The system is easy to maintain, allows for the replacement of elements such as the microcontroller (Basic Step 1) or the storage module (PenBS), and has external sensors which can be replaced if necessary. It is feasibility to use this tool because of its low production cost. However, for extended periods of data collection, it is recommended that an external battery be added to prevent data loss during power outages. During the installation process, precautions should be taken to prevent the oxidation of the sensors, which would result in measurement errors, directly affect the quality of data collected.

Keywords: Data logger; Microcontroller; Basic Step 1; PenBS; Climate variables

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Termoresistor para a obtenção dos valores de temperatura LM35 (a), amplificador operacional tipo CA3140 (b), circuito de ligação sensor - amplificador operacional – microcontrolador (c) 43
Figura 2 - Sensor capacitivo para a obtenção dos valores de umidade relativa do ar HIH-4000 (a), circuito de ligação do sensor – microcontrolador (b) 44
Figura 3 - Fotoresistor para a obtenção dos valores de radiação solar LDR (Light Dependent Resistor)(a), circuito elétrico para a obtenção de sinal tensão do LDR (b) 45
Figura 4 - Detalhe do microcontrolador Basic Step 1 46
Figura 5 - Módulo de gravação de dados PenBS.....46
Figura 6 – Esquema para reprogramação do módulo PenBS 48
Figura 7 – Esquema de comunicação entre BASIC Step 1 e PenBS.....49
Figura 8 - Circuito do temporizador acoplado ao BASIC Step 1.....50
Figura 9 – Circuito regulador de tensão 51
Figura 10 - Circuito do led indicador de funcionamento 52
Figura 11- Fluxograma da rotina de programação Basic Step 1 53
Figura 12 - Ilustração do arquivo Data.txt após a coleta de dados realizada pelo Data-Basic 54
Figura13 - Fluxograma do software desenvolvido em Visual Basic 6.0 para interpretação dos dados coletados 55
Figura 14 – Tela do Data-Basic Software desenvolvido em Visual Basic 6.0 para separar e aplicar as equações de calibração nos dados de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar (a) e Tela do Data-Basic Software com sub-menu de opções para o usuário (b).....56
Figura 15 – Sistema automatizado de medidas Data-Basic (a), sensores de temperatura e umidade relativa do ar (b) e sensor de radiação solar (c).....57
Figura 16 – Dispersão entre os dados do Data-Basic e da EMA (a) e Dispersão entre os dados do Data-Basic e da EMC (b) 67

Figura 17- Temperatura das séries de temperatura coletadas pelo Data-Basic e pela EMA em função do tempo em dias juliano (DJ) (a) e Temperatura das séries de temperatura coletadas pelo Data-Basic e pela EMC em função do tempo em dias juliano (DJ) (b) 68

Figura 18 – Dispersão entre os dados de umidade relativa do ar coletados pelo Data-Basic pela EMA (a) e Dispersão entre os dados de umidade relativa do ar coletados pelo Data-Basic pela EMC (b) 70

Figura 19 – Valores de umidade relativa do ar das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMA em função do tempo em dias juliano (DJ) (a) e Valores de umidade relativa do ar das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMC em função do tempo em dias juliano (DJ) (b) 72

Figura 20 – Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados PAR -EMA-Medido (a), Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados de PAR - EMA-Estimado (b) e Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados de PAR – EMC (c) 74

Figura 21 - Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados da EMA-Medido (a), Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados da EMA-Estimado (b) e Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados da EMC(c), entre os dias Juliano 215 a 232 77

1 INTRODUÇÃO

A necessidade por produtos agrícolas dos mais variados tipos, começando por aqueles que são utilizados para sua subsistência, como o arroz, o feijão, o tomate, o pimentão, o milho, até aqueles como a cana-de-açúcar, um subproduto, utilizado na fabricação do álcool e do açúcar, fazem-se sempre necessários e presentes, principalmente na medida em que há um crescimento da população mundial. Desse modo, para atender à demanda de mercado, aumenta-se a cada ano a necessidade de produção em larga escala, onde pequenas perdas acarretam em grandes prejuízos não só para o produtor agrícola como também para o consumidor final

De maneira geral, as perdas na produção influenciam bastante no aspecto social e sua minimização assume papel importante. Por esse motivo, há necessidade de lançar mão de métodos para auxiliar na redução dessas perdas. Dentre esses, aparecem algum sistemas automatizados para coleta de dados de elementos climáticos e que auxiliam no monitoramento de algumas variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar), as quais influenciam diretamente no rendimento e na qualidade dos produtos agrícolas.

Essas variáveis climáticas normalmente variam de acordo com o local onde a cultura é implantada, sendo assim, cada local tem seus valores típicos de incidência de radiação solar, umidade relativa e temperatura do ar. Estes três elementos encontram-se co-relacionados, sendo sua variação intrinsecamente dependente umas das outras, levando-as a influenciar todo o ambiente agrícola.

Diante da análise de ambientes distintos, certamente encontrar-se-ão diferentes valores, principalmente em se tratando de ambientes fechados, onde as variáveis adquirem outro tipo de comportamento e onde também podem se encontrar mais atenuadas e outras mais ressaltadas em comparação ao ambiente aberto. Neste caso, devem-se levar em consideração as mudanças que ocorrem em função do tipo de material da cobertura, do tipo de ambiente mais adequado para a produção com que se pretende trabalhar, seja produção vegetal ou produção animal e para a atividade em questão quais são os fatores mais relevantes e que devem ser mantidos sobre maior “vigilância”. Assim, uma vez com esse monitoramento, será possível manter a produção agrícola sob otimização de determinados índices de temperatura, umidade relativa do ar

e radiação solar, podendo essa ser um tipo de produção animal ou o cultivo de uma espécie vegetal.

A fim de se realizar esse monitoramento climático tem-se a opção de utilização de recursos modernos para o monitoramento de elementos climáticos. Dentre esses pode-se citar os sensores eletrônicos, que são utilizados para coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar. No entanto, os sensores disponíveis no mercado atualmente ("*data loggers*") apresentam um elevado custo para aquisição, o qual incide de certa forma no aumento dos gastos na produção.

Portanto, o objetivo da presente pesquisa foi procurar uma alternativa para contornar essa situação, visando o desenvolvimento de um sistema automatizado de baixo custo, para coleta de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar, mediante um circuito eletrônico gerenciado pelo microcontrolador Basic Step 1, ao qual será acoplado a um módulo de gravação para armazenamento dos dados, em um dispositivo de memória flash com conexão USB ("*pen drive*"). Para a leitura dos dados do arquivo gerado também buscou-se desenvolver um software em linguagem de programação Visual Basic 6.0, visando facilitar a análise e visualização dos valores obtidos das variáveis climáticas, mediante uma interface gráfica.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Elementos climáticos

O planeta Terra tem sua superfície envolvida pela atmosfera, a qual se trata de uma camada gasosa que é composta principalmente pelos gases nitrogênio (78,08%) e oxigênio (20,95 %), sendo os outros gases responsáveis por menos de 1% dessa camada (SUTTON, 1977).

Dentre as divisões da atmosfera encontra-se a troposfera, camada mais próxima à superfície terrestre, onde ocorrem os diversos fenômenos climatológicos. Estes fenômenos encontram-se baseados em elementos como radiação solar, temperatura, precipitação, umidade, velocidade do vento e evaporação (BLAIR; FITE, 1964).

Dentre estes elementos, existem aqueles que podem ser considerados fundamentais, tais como a temperatura, a umidade relativa do ar e a radiação solar, pois exercem influência sobre outros elementos climáticos, ou muitas vezes sendo o seu gerador, como exemplo pode-se citar o vento, que é ocasionado devido à diferença de temperatura de duas massas de ar que se encontram gerando um potencial térmico ou ainda elementos como a precipitação, que se encontra baseada na umidade relativa do ar, uma vez que esta ocorre devido a saturação do ar pelo vapor d' água nele presente, sendo importante lembrar que a quantidade de vapor de água que um volume de ar pode reter sem precipitar vai depender de sua temperatura, portanto encontra-se aí uma relação direta entre a umidade e a temperatura do ar.

Outro elemento fundamental é a radiação solar, meio pelo qual a energia solar chega até nosso planeta, de modo a gerar aquecimento, além de fornecer energia para os processos como a fotossíntese, responsável pela manutenção da vida uma vez que produz a energia que irá percorrer toda a cadeia alimentar e a evaporação, processo pelo qual as águas de mares, rios, lagos e oceanos se transformam em vapor que irá compor o ar atmosférico, modificando assim sua umidade relativa que muitas vezes melhora o conforto térmico do ambiente.

Desse modo, é notória a influencia que a produção agropecuária sofre por estas variáveis, seja nos processos água – solo – planta, ou em termos de ambiente que

afeta tanto a plantas como animais, alterando sua fertilidade de modo a alterar o resultado de toda uma produção, gerando muitas vezes perdas inestimáveis. Um recurso importante para o produtor agropecuário é a coleta desses elementos climáticos, de modo que analisando elementos como temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar, o produtor poderá optar por diferentes técnicas de manejo da sua cultura e tipos de ambientes, podendo estes ser protegidos ou não alterando muitas vezes sua condição de ventilação o que permitirá a ele evitar perdas por doenças ou por um stress térmico, melhorando assim a qualidade de sua produção.

2.1.1 Temperatura

2.1.1.1 Influências da temperatura no ambiente agrícola

Este elemento meteorológico tem fundamental importância em todo o processo produtivo agrícola, pois atua de modo incisivo nas condições de vida da Terra e nas características do solo nas diferentes regiões do mundo. É necessário que se examine de forma detalhada a maneira pela qual nosso planeta é aquecido e resfriado, e alguns dos seus efeitos físicos devido às variações de temperatura, porquanto a maioria dos fenômenos meteorológicos tem suas origens justamente nas mudanças de temperatura (BLAIR; FITE, 1964).

Diversos trabalhos têm buscado identificar as influências da temperatura em estudos agronômicos, como é o caso de Ruffato et al. (2000), que em uma análise de qualidade do milho pipoca, observou que o aumento de temperatura do ar de secagem a afetava significativamente, pois caso a secagem ocorra de forma rápida, ou seja, em altas temperaturas, sendo seguida de um resfriamento rápido, podem ocorrer trincas internas no endosperma dos grãos diminuindo sua qualidade.

Lopes et al. (2004) em concordância com Silva et al. (1999) demonstram a importância da temperatura do ar em modelos de regressão que estimam o acúmulo de matéria seca de várias espécies, incluindo o alface, devido à facilidade com que este elemento é medido e sua boa relação com a quantidade de radiação

fotossinteticamente ativa, a qual é necessária para a determinação do ciclo de vida da planta.

O aparecimento de microorganismos é influenciado pela temperatura do ar, afetando a produção agrícola como é o caso do fungo *Magnaporthe grisea,* agente causal da brusone do trigo uma doença limitante à cultura do trigo no Brasil em regiões produtoras localizadas acima do paralelo 24 °S, pois sua produção é favorecida quando a temperatura ambiente encontra-se em torno de 28ºC (ALVES; FERNANDES, 2006). De modo semelhante, a melanose, doença de citros causada pelo fungo *Diaporthe citri* em sua fase anamórfica, forma picnídios, os quais aumentam substancialmente sua produção com valores de temperatura do ar entre 15 a 25 °C (NOZAKI et al., 2004).

O efeito da temperatura do ar também afeta a produção pecuária, dentre estes o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte, onde os rendimentos os melhores resultados de ganho de peso e dos pesos absolutos de carcaça, peito e coxa foram obtidos quando nas aves criadas em ambientes com temperatura de 24 a 26,3ºC, pois temperaturas ambientais abaixo ou acima destes valores influenciam negativamente o ganho de peso e os pesos absolutos de carcaça, peito e coxa (OLIVEIRA et al., 2006).

Em se tratando da produção de suínos, a alta temperatura ambiente, por meio da redução do consumo de ração, influencia negativamente o ganho de peso, a conversão alimentar e a deposição de proteína, além de aumentar a freqüência respiratória e a temperatura retal de suínos dos 15 aos 30 kg (MANNO et al., 2005).

Contudo, a produção de bovinos também sofre influência pelas baixas temperaturas do ar, mesmo nas regiões mais quentes e em estações do ano como o verão, uma maior atenção deve ser dada a todos os bezerros independentemente de seu grupo genético nascidos em dias com temperatura mais baixa, pois, nessas condições, apresentam maior dificuldade de adaptação e regulação da temperatura corporal, evidenciada pelo padrão dos hormônios tireoidianos e cortisol após o nascimento (RIBEIRO et al., 2006).

2.1.1.2 Instrumentos e medidas da temperatura do ar

Dentre os instrumentos de medida da temperatura o mais comum é o termômetro de mercúrio, onde o metal se expande de maneira uniforme, sendo possível aferir medidas de temperatura entre -30 ◦C e + 320 ◦C (PIRES et al., 2006). Entretanto, ao longo do dia a temperatura do ar sofre uma variação influenciada principalmente pelo aquecimento solar, atingindo dois valores extremos a temperatura máxima e a temperatura mínima, sendo estes valores respectivamente a maior e a menor temperatura do ar no período de um dia.

Essas medidas são feitas por termômetros específicos, os chamados termômetros de máxima e mínima. O termômetro de máxima utiliza o mercúrio como elemento sensível sendo constituído de um dispositivo próximo ao bulbo, de modo a impedir o retorno do mercúrio, fazendo marcar a maior temperatura atingida (SILVA, 2000). O termômetro de mínima tem o álcool como seu elemento sensível, onde é encontrado um pequeno indicador móvel, em forma de haltere, introduzido no meio do líquido, que devido força de tensão superficial, nunca atravessa o menisco e, portanto, acompanha o extremo da coluna quando a temperatura desce, marcando assim a menor temperatura diária (SILVA, 2000; PIRES et al., 2006).

As medidas de temperatura das estações meteorológicas convencionais encontram-se baseadas neste tipo de instrumentos, onde são realizadas medidas de temperatura máxima e mínima, com as quais é calculada mediante uma média aritmética a temperatura média diária. Entretanto, hoje existem as estações meteorológicas automáticas, as quais são compostas por sensores que enviam um sinal elétrico a uma central ("*data logger*") que fica encarregada de armazenar estes dados em um drive de memória. A diferença entre os dados destes dois tipos de estação meteorológica fora preocupação de vários estudos comparativos onde objetivou-se detectar uma margem de erro entre as medidas destes instrumentos, como é o caso de Souza et al. (2002) que realizaram um estudo comparativo entre os dados das estações meteorológica convencional e automática, presentes na região de Maringá-PR em uma série de 34 meses de observações, onde dentre os dados analisados encontram-se valores de temperatura máxima, temperatura mínima e

temperatura média diária, os quais apresentaram boa concordância entre os dois tipos de estação. De modo semelhante Sentelhas et al. (1997) comparou os dados das estações automática e convencional localizadas na cidade de Piracicaba-SP, em uma série de 13 meses, onde concluiu não haver mudanças significativas nas séries de dados. Por fim, Cunha e Martins (2004), confirmam estes resultados em seu estudo comparativo entre os dados de elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática, instaladas no município de Botucatu-SP, sendo analisadas dentre outras variáveis a temperatura máxima, mínima e média do ar, as quais apresentaram boa concordância foi boa, porém consideraram não ser recomendável a substituição da estação meteorológica convencional (EMC) pela automática (EMA) sem que seja feita uma análise comparativa das duas estações por um período representativo.

Em uma linha de estudos parecida, Antonini et al. (2009) visando desenvolver um modelo matemático de estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás, utilizaram valores diários de temperatura máxima e mínima do ar de períodos não uniformizados, com o mínimo de oito anos de observações de séries históricas, de 21 estações meteorológicas, onde se demonstrou a aplicabilidade do modelo desenvolvido, o qual prevê adequadamente a variação da temperatura média diária no Estado de Goiás, com desempenho mediano para altitudes baixas e elevadas, e desempenho muito bom para altitudes médias.

Outra aplicação termômetro de mercúrio utilizado é na estimativa da umidade relativa do ar, onde se utiliza a temperatura do ar entre outras grandezas físicas, como cita Gomes (2006) que realizou medidas de temperatura do ar ao estudar o efeito do ambiente térmico na produtividade de caprinos Moxotó criados em ambientes de confinamento. Assim, como Azevedo et al. (2005), ao estimar níveis críticos superiores do índice de umidade, registrou medidas de temperatura do ar, que permitiram a estimativa da umidade relativa do mediante tabelas meteorológicas.

Contudo, Tinôco et al. (2002) ao estudar a influência de materiais em sistemas de resfriamento, mediu a temperatura do ar diariamente, a cada duas horas, das 8 às 18 h, em estufas situadas na Universidade Federal de Viçosa – MG, onde materiais

porosos como cinasita e carvão vegetal se mostraram mais vantajosos que materiais como a serragem e a fibra de madeira.

2.1.2 Umidade relativa do ar

2.1.2.1 Influências da umidade relativa do ar no ambiente agrícola

A umidade relativa do ar é definida por Tubelis e Nascimento (1992) como sendo a quantidade de água, na fase de vapor, existente na atmosfera, a qual tem como fontes naturais as superfícies de água, gelo e neve, a superfície do solo, além das superfícies vegetais e animais. Todo este vapor pode ser ocasionado por diferentes processos físicos como a evaporação, a sublimação e a transpiração, entretanto a concentração de vapor de água que a atmosfera consegue reter é pequena, chegando a um máximo de 4% em volume, por fim as mudanças de fase da água são acompanhadas pelas trocas de calor latente, que associadas com o transporte de vapor de água pela circulação atmosférica, atuam na distribuição do calor sobre o globo terrestre.

As alterações da umidade relativa do ar podem afetar diretamente o desempenho de uma produção agrícola, como confirma o trabalho de Ruffato et. al. (2000), que maiores rendimentos de capacidade de expansão do milho de pipoca são obtidos quando este é colhido com 15% de umidade. Entretanto a umidade relativa do ar segundo Valandro (1999) e Righi (2000) diminui a transpiração das plantas devido à diminuição do gradiente de concentração de vapor entre a cavidade estomática e o ar adjacente à folha, mediada pela redução do déficit de saturação de vapor do ar. Ao considerar, o aumento da resistência ou o fechamento estomático, Baille et. al. (1994), relatam que estes passam a ocorrer de forma mais intensa com baixos níveis de umidade relativa do ar, o que reduziria ainda mais a relação com a evapotranspiração máxima.

No município de Capim – PB Mendonça (2008) estuda a evapotranspiração de referência diária pelos métodos empíricos de Penman, Penman-Monteith, Hargreaves, Sarmani, Linacre, Priestley-Taylor e Radiação, analisando dentre outros dados a

umidade relativa do ar, fator limitante que atua no processo e que possibilitou a este sugerir o uso da equação do método de Radiação para estimar a evapotranspiração de referência, o qual depende de uma quantidade menor de dados meteorológicos.

Contudo, a umidade relativa do ar também pode influenciar na disseminação de pragas e doenças, as quais na maioria dos casos são causadas por microorganismos que são influenciados pela umidade relativa do ar, como é o caso do fungo *Magnaporthe grisea,* estudado por Alves e Fernandes (2006), responsável pela brusone, doença limitante à cultura do trigo no Brasil em regiões produtoras localizadas acima do paralelo 24 °S, pois sua produção é favorecida quando a temperatura ambiente encontra-se em torno de 28ºC.

2.1.2.2 Instrumentos e medidas da umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar tem como instrumento de referência o psicrômetro, o qual é um instrumento de medida instantânea, este instrumento é constituído de dois termômetros comuns, os quais são denominados termômetros de bulbo seco e de úmido, onde o termômetro de bulbo seco é o termômetro de mercúrio, com seu bulbo apenas exposto ao ar, enquanto que o termômetro de bulbo úmido tem seu bulbo envolvido, por um condão umedecido em água, a qual evapora, possibilitando assim o calculo da umidade relativa do ar pela diferença de temperatura (SILVA, 2000). Além disso, este instrumento pode ser separado em dois tipos: psicrômetro não ventilado e ventilado. O psicrômetro não ventilado é o mais comumente usado e sua ventilação depende do fluxo de ar do ambiente, o qual varia ao longo do tempo favorecendo ou não a evaporação. Já o psicrômetro ventilado possui um mecanismo acoplado ao aparelho, cuja função é aspirar o ar e com isso manter um fluxo constante gerando resultados independentes do fluxo de ar do local (BLAIR; FITE, 1964).

Assim, Gomes (2006) utilizou um psicrômetro não ventilado, para efetuar medidas de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido ao estimar a umidade relativa do ar, em seu estudo sobre o efeito do ambiente térmico na produtividade de caprinos Moxotó criados em ambientes de confinamento, que lhe possibilitou concluir que o ambiente térmico pode afetar a produtividade de animais criados em confinamento,

alterando seu ritmo cardíaco e temperatura corporal. Semelhantemente Azevedo et al. (2005), em seu trabalho se dedicou a estimar níveis críticos superiores do índice de umidade, pois em situações extremas, o nível da umidade relativa do ar pode afetar o bem estar da vida animal de modo a provocar diversos problemas, principalmente no aparelho respiratório. Assim, utilizaram um psicrômetro não ventilado para registrar temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, que permitiram a estimativa da umidade relativa do ar através de tabelas meteorológicas.

Dentre os fatores que influenciam em um sistema de resfriamento, estão os materiais utilizados em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, os quais foram analisados por Tinôco et al. (2002), que compararam a eficiência de alguns materiais porosos alternativos encontrados no Brasil, como a cinasita, serragem, fibra vegetal e carvão, utilizando estufas situadas na Universidade Federal de Viçosa – MG, onde se coletou dentre outras variáveis fora estimada a umidade relativa do ar, por um psicrômetro não ventilado.

Contudo, muitos trabalhos, também utilizam psicrômetros ventilados, como Ferreira e Silvestre, (2004) que utilizaram esse instrumento ao medir a umidade relativa do ar em seu estudo sobre a transpiração de videiras, constatando diferentes valores de transpiração para plantas situadas em solo com diferentes inclinações. Em outro trabalho, Paço e Ferreira (2004), com o objetivo de estudar a evapotranspiração de uma plantação de pêssegos, realizaram medidas da umidade relativa do ar com base em um psicrômetro ventilado, o que lhes possibilitou a quantificação do consumo hídrico e um melhor manejo de Irrigação.

2.1.3 Radiação solar

2.1.3.1 Influências da radiação solar no ambiente agrícola

A radiação solar que atinge a superfície da Terra é um parâmetro de fundamental importância para os diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, do ambiente agrícola. A radiação solar que chega à superfície do planeta é dividida sendo parte refletida, parte transmitida e outra absorvida pelas plantas de forma

diferenciada, dentro do espectro solar (LEITÃO; OLIVEIRA, 2000). Seguindo a mesma idéia, Leitão et al. (2000) afirmam que a energia proveniente do Sol é o fator mais importante para o desenvolvimento dos processos físicos que influenciam as condições de tempo e clima, onde de modo geral todos os fenômenos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos ocorridos no sistema solo – planta – atmosfera estão direta ou indiretamente relacionados com a quantidade de radiação solar incidente sobre a sua superfície.

Entre os processos físicos que mais afetam a produção das plantas cultivadas, está à fotossíntese a qual utiliza a radiação solar como principal fonte de energia, assim no setor agrícola, sua primordial função é dada pelas transformações bioquímicas nos vegetais, proporcionadas pelo número de horas de incidência de brilho solar nas culturas, definindo muitas vezes sua época de floração e frutificação, influência na cor, sabor e odor das frutas, vegetais, etc (BORGES et al., 2002). Em concordância, Kunz (2006) afirma que a radiação solar é um elemento primordial na exploração agrícola e seu máximo aproveitamento, através da sua transformação e fixação na forma de substâncias fotossintetizadas na planta, entretanto esta variável física pode ser representada pela soma da radiação direta e a difusa, as quais se encontram em uma faixa de comprimentos de onda que se encontram entre 300 e 3.000 nanômetros, além disso, a quantidade de energia solar que atinge uma superfície na terra é dependente da orientação da superfície relativa à posição do sol, e da transmissividade atmosférica.

Contudo, a faixa da radiação solar utilizada pelas plantas no processo de fotossíntese, é a chamada radiação fotossinteticamente ativa, que segundo Neto et al. (2008), representa uma fração de 45% da radiação global, o qual estabeleceu as variações da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a radiação global (Rg) durante o período de crescimento do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Duradoro) cultivado em substrato de areia sob condições de ambiente protegido. Com base nos resultados, é possível afirmar que ocorreu efeito pouco expressivo da expansão foliar da cultura em reflexões múltiplas da radiação solar no interior do ambiente protegido e um efeito marcante da nebulosidade na razão PAR/Rg.

Beckmann et al. (2006) avaliou em seu trabalho, a variação, bem como sobre a disponibilidade da radiação global externa e interna, e a radiação fotossinteticamente

ativa no interior do ambiente protegido durante o ciclo do tomateiro nas estações verão-outono em Pelotas, Rio Grande do Sul, pois segundo este o crescimento e desenvolvimento de uma planta dependem da intensidade, qualidade e duração da radiação solar, onde pode concluir que a radiação solar é fator limitante a partir do final do outono, concluindo que a implementação e o manejo de tomateiros em estufas devem ser realizados de modo a evitar que o período reprodutivo coincida com a baixa disponibilidade de radiação solar.

Na cultura de milho, segundo Matzenauer (2000) a baixa disponibilidade hídrica é o principal fator responsável pelas quebras nas safras de milho no estado do Rio Grande do Sul. Assim, utilizou a radiação solar global na estimativa das deficiências hídricas para a cultura do milho, em quatro épocas de semeadura, de modo a concluir que a utilização do método de radiação solar pode ser uma opção viável, apesar de não ter se demonstrado o mais eficiente para estimar as deficiências hídricas da cultura do milho.

Contudo, Escobedo et al. (2008), coletou diversas faixas de atuação da radiação global (Rg), de modo a avaliar os efeitos da nebulosidade e o do vapor de água nos coeficientes angulares ou frações médias das correlações mensais para as radiações ultra-violeta (UV), fotossinteticamente ativa (PAR) e infra-vermelha (IV) em função da radiação global (Rg), foram analisadas as variações das razões entre a radiação global e as radiações ultra-violeta (UV), fotossinteticamente ativa (PAR) e infra-vermelho (IV), montando assim, uma base de dados referentes ao período de 2001 a 2005 no município de Botucatu-SP, onde os resultados mostraram que as radiações UV, PAR, IV estão bem relacionadas com a radiação Rg. As frações médias mensais UV/G e PAR/G variaram proporcionalmente a concentração de vapor de água e da nebulosidade, em cada mês do período analisado.

2.1.3.1 Instrumentos e medida de radiação solar

A radiação solar tem suas medidas baseadas na convergência de raios solares, de modo a se considerar a radiação direta medida com o periodo de insolação e a radiação difusa, onde são empregados recursos térmicos para efetuar essas medidas.

Assim, são encontrados dois tipos de instrumentos para estimar a radiação solar, o piranômetro e o heliógrafo.

O piranômetro destina-se a medir a quantidade de radiação solar que atinge a uma superfície plana, proveniente de todo um hemisfério. São utilizados para determinar a radiação global e, eventualmente, têm sido empregados para estimar a radiação difusa. Neste último caso o sensor é protegido da radiação direta por meio de uma faixa de metal curva, cuja inclinação deve ser ajustada de modo a acompanhar o movimento aparente do Sol na abóbada celeste. Mas essa faixa constitui, igualmente, um anteparo parcial a radiação difusa, introduzindo um erro sistemático nas determinações, o que exige a aplicação de um fator de correção para compensá-lo. (VAREJÃO-SILVA, 2005).

Um modelo de piranômetro é o Actinógrafo Bimetálico do tipo Robitzsch que se trata de um piranômetro totalmente mecânico, cujo elemento sensível desse instrumento é constituído por uma lâmina bimetálica enegrecida, exposta a radiação solar e por mais duas outras, pintadas de branco e mantidas a sombra. A primeira lâmina deforma-se por efeito duplo da variação da temperatura ambiente e da absorção de energia solar, porém nas outras duas a deformação é apenas causada pela variação da temperatura ambiente. Um acoplamento mecânico compensa o efeito térmico da primeira lâmina com o das outras duas, de tal modo que a deformação resultante, apenas devido à radiação, é transmitida a uma pena registradora sob a qual se move um diagrama (actinograma), preso a um tambor rotativo. A radiação global (faixa do visível) é obtida planimetrando-se a área sob a curva (VAREJÃO-SILVA, 2005).

O heliógrafo é o instrumento mais tradicional e seu principio de funcionamento é baseado na convergência dos raios solares, ocasionados pela radiação direta que provocam a queima de uma fita denominada heliograma em um ponto, que avança com o movimento aparente diário do Sol, no entanto, quando uma nuvem oculta o disco solar, a queima é interrompida, inserindo erros de medida ao instrumento. Contudo, é interessante destacar que o heliógrafo funciona como um relógio solar, quando instalado corretamente, a posição do foco sobre o heliograma corresponde à hora solar verdadeira local (VAREJÃO-SILVA, 2005).

No Brasil o instrumento mais difundido é o heliógrafo Campbell-Stokes, que é formado por uma esfera de vidro transparente, montada em um eixo inclinável, cujo suporte contém uma calha, disposta transversalmente. Ao ser instalado, seu eixo deve ficar paralelo ao eixo terrestre, permanecendo a calha orientada na direção leste-oeste. O foco luminoso, causado pela convergência da luz do Sol ao incidir sobre a esfera, deve situar-se sempre no interior da calha, em qualquer hora do dia, de qualquer dia do ano. De forma a atender esta exigência, existem modelos apropriados aos trópicos, às regiões de latitude média e as áreas circumpolares, neste ultimo caso, usam-se efetivamente dois heliógrafos montados em oposição, já que o sol aparentemente descreve uma circunferência completa em torno do instrumento, por dia. Na calha é colocada, diariamente, uma tira de papel especial, chamada heliograma, onde está impressa uma escala horária (VAREJÃO-SILVA, 2005).

Assim, Pereira et al. (2007), ao estimar a capacidade reflexiva de micro-sistemas pantaneiros, utilizaram dados de radiação, que envolveram variáveis meteorológicas referentes à radiação solar. Ao efetuar suas medidas, este utilizou três tipos de equipamento, para determinar a radiação solar global incidente e refletida, utilizando-se um piranômetro. De forma semelhante, Ferreira et al. (2004), em sua análise de ambientes protegidos como alternativa de cultivo da uva *Cabernet Sauvignon*, utilizou medidas de radiação solar global, obtida por meio de piranômetros localizados no topo do vinhedo, em microambiente estabelecido, onde percebeu-se a diminuição do nível de radiação solar para 85,4% e um aumento das temperaturas máximas em 1,3ºC.Na comparação entre os ambientes a céu aberto e parcialmente modificado não foram encontradas diferenças de produção, porém o teor de sólidos solúveis foi superior no ambiente a céu aberto.

Em uma análise à cultura de pimentão também desenvolvida com a utilização de estufas Silva et al. (2002), coletaram três tipos de radiação solar: a radiação solar difusa, a radiação solar refletida e a radiação solar global. Para a determinação da radiação solar global utilizaram-se dois piranômetros, um para o ambiente protegido e outro para a condição de campo. As medidas da radiação solar difusa foram obtidas utilizando-se um anel de sombreamento sobre um Piranômetro, sendo utilizados dois anéis de sombreamento e dois piranômetros, um para a condição de ambiente

protegido e outro para a condição de campo. A função do anel de sombreamento é barrar a radiação solar direta sobre o sensor. Para obtenção das medidas da radiação solar refletida, utilizaram-se dois piranômetros voltados para o solo, um em condição de ambiente protegido e outro no campo.

Desse modo, os resultados obtidos ao longo dos períodos sem e com cultura do pimentão (híbrido Margarita), permitem concluir que o índice da radiação solar global (transmissividade) foi maior no período com a cultura do pimentão devido, principalmente, as diferentes condições atmosféricas no momento da determinação e ao tempo de exposição do material de cobertura às condições ambientais, não sendo essa diferença relacionada diretamente a um efeito da cultura sobre o microclima de cultivo. Já o índice de radiação solar refletida apresentou valores superiores no período com a cultura, mas esse aumento não está relacionado a um efeito da cultura do pimentão no microclima de cultivo. A variação desse índice no período com cultura está relacionada com o índice de área foliar do pimentão e no período sem cultura, com a precipitação pluviométrica. Por fim, o índice da componente difusa da radiação solar observou-se valores superiores no período com a cultura do pimentão, caracterizando o efeito da cultura sobre essa variável.

Righi e Bernardes (2007) utilizaram um pirânometro da estação meteorológica pertencente ao Departamento de Ciências Exatas – ESALQ/USP, em sua análise dos efeitos da modificação do ambiente pelas árvores de seringueira, na produtividade do feijoeiro em função de sua distância, onde observou-se que a produtividade do feijoeiro está direta e positivamente relacionada à irradiância disponível, sendo diminuída com a proximidade das árvores.

Em outro trabalho Marin et al. (2006) em seu estudo sobre a perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no estado de São Paulo, utilizou dados de insolação das localidades de Manduri, Piracicaba, Ribeirão Preto e Ilha Solteira, obtidos através de heliógrafos instalado nas estações meteorológicas convencionais presentes nestas localidades. Desse modo, foi possível identificar épocas de semeadura com menores riscos para o cultivo do sorgo e as chances de perda para cada época do ano. Em Manduri, Piracicaba, Ilha Solteira e Ribeirão Preto, os riscos de quebra de produção foram menores nas semeaduras entre 15/10 e 15/11, com quebras inferiores a 5%. Em

todas as localidades, foram observadas perdas inferiores a 5% para semeaduras realizadas em fevereiro.

Dias et al. (2005), visando uma análise dos períodos de interferência de *commelina benghalensis* na cultura do café recém-plantada, utilizou dados de insolação diária medidos por um heliógrafo, de modo a avaliar algumas características de crescimento das plantas no verão e inverno, concluiu-se as características do cafeeiro mais afetadas pela trapoeraba foram a área foliar e a biomassa seca de folhas das mudas de café, sendo essas as únicas características que apresentaram reduções significativas no verão. No inverno, o número de folhas e a biomassa seca do caule também tiveram reduções significativas. Os períodos críticos de prevenção da interferência foram de 15 a 88 e 22 a 38 dias após o plantio das mudas de café, para condições de inverno e verão, respectivamente.

Por fim, ao determinar a evapotranspiração por métodos diretos e indiretos e dos coeficientes de cultura da soja para Brasília-DF, Mendes (2006) utilizou dados de insolação medidos por um heliógrafo, de modo a concluir que para a cultura de soja : A demanda hídrica da soja foi estimada em 850 mm, alcançando o valor máximo nos estados reprodutivos; os coeficientes de cultura da soja variaram de 0,21 a 1,56, dependendo do estádio de desenvolvimento, sendo os maiores valores obtidos nos estádios reprodutivos da soja; segundo o índice proposto por Willmott, o método que melhor correlacionou com o método direto do balanço hídrico foi de Penman (0,84), em relação ao tanque classe A (0,70).

2.2 Sistemas automatizados de medida e seus componentes

Os sistemas automatizados de medida surgiram como uma alternativa para suprir a necessidade de monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e independente de um observador. Estes sistemas permitem uma maior variedade na coleta de dados, bem como um maior número de variáveis e de medidas a serem feitas. Desse modo, é possível estabelecer um melhor monitoramento das tarefas rotineiras e respostas imediatas sobre as características do ambiente. Assim, pode-se citar os trabalhos Silva e Moraes (2002) que em concomitância com

Dally et al. (1993) relatam que a automatização na obtenção dos dados tem gerado avanços enormes, pois permite o acesso a medidas em tempo real e portanto, a tomada rápida de decisões. Os dados obtidos em tempo real podem ser empregados para estimar exigências de água e desenvolvimento das culturas, stress do gado e índices de secagem do feno. Podem ser úteis também na determinação da época de pulverização, para controle de doenças e pragas em plantações (HAYHOE; BALCHIN, 1987).

Atualmente, existem inúmeros exemplos de sistemas de automação de aquisição de dados com os mais variados graus de complexidade. Isso ocorre devido à diversidade de situações e climas, presentes na atmosfera, as quais trazem sérios inconvenientes à padronização de equipamentos de medição remota, conseqüentemente dificultando a formação de redes meteorológicas e elevando o custo de tais instrumentos devido à necessidade de projetos especiais para cada caso, (ZAMBALDE, 1991).

No desenvolvimento de um sistema automatizado de dados deve ser considerado o tamanho do equipamento, facilitando acesso, a coleta de dados, o transporte e a instalação do equipamento. Atualmente o mercado oferece uma série de "*data loggers*" portáteis comercialmente disponíveis, assim como sistemas de aquisição de dados para computadores portáteis que são apropriados para uso em campo (SILVA, 2000).

Dentre estes equipamentos um dos que mais se destacam hoje no mercado, é o HOBO da "*Onset Computer Corporation*", que devido ao seu tamanho e recursos oferecidos como medidas de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, este tem se mostrado, uma boa alternativa aos usuários de pequeno porte. Contudo, devido a este produto ser importado seu custo ainda é significativo para o usuário, o qual muitas vezes evita a utilização deste tipo de recurso devido à contenção de despesas.

O desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados compreende construção ou adaptação de sensores, a interface sensores-microcomputador, condicionamento de sinal, armazenagem e transmissão de dados, (BRITO; SOUZA, 1987). Desse modo é possível coletar os sinais e convertê-los na forma digital, que poderão ser processados por um microcontrolador, de forma a serem armazenados em

algum tipo de memória de armazenagem, como unidades de discos rígidos e/ou drives de memória flash ("*pen drives*"), ou ainda, serem enviados para algum periférico como: impressoras e monitores (REBELLO JUNIOR, 2004). Contudo, existem aspectos importantes que influenciam na capacidade de funcionamento do "*data logger*" para cada caso em particular, como o tipo de sensores, microcontroladores e o modo de armazenamento desses dados.

2.2.1 Sensores

Os sistemas de automação são Basicamente leitores automáticos de informações, que no caso são fornecidas pelos sensores por um sinal elétrico, proporcional a variação de grandezas físicas, tais como temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa, e outros (SILVA, 2000).

O sensor é a parte do sistema automático de medidas, responsável por detectar a variação de determinada grandeza física. Entretanto existem diversos princípios físico-químicos, que podem estar relacionados à diferença no sinal, dentre eles pode-se citar a variação da resistência elétrica seja esta devido à luminosidade ou temperatura. A variação da temperatura de uma junção bimetálica, pode também afetar a diferença de potencial oferecida, caracterizando um termo par. Entretanto pequenas influências como a quantidade de vapor de água no ar pode afetar o sinal de um pequeno capacitor, possibilitando uma relação entre um sinal elétrico e a umidade relativa do ar.

Sensores químicos são dispositivos que permitem a coleta de dados e obtenção de informações com manipulação mínima do sistema estudado. Assim, os resultados obtidos podem ser analisados e correlacionados com outros parâmetros no ambiente em que estão inseridos. Estes dispositivos possuem características peculiares que os distinguem de métodos instrumentais de largo porte, os quais, por usa vez, são cada vez mais precisos, sensíveis e seletivos, mas não permitem a obtenção de informações *in situ* e em tempo real. Dados nestas condições experimentais são facilmente obtidos com sensores e, mesmo que as medidas não tenham precisão e exatidão comparáveis às dos métodos instrumentais, em muitas ocasiões têm-se elementos suficientes para tomadas de decisão. Características vantajosas também inerentes ao uso de sensores

químicos referem-se à portabilidade, facilidade de automação, possibilidade de miniaturização e baixo custo (LOWINSOHN; BERTOTTI, 2006).

2.2.1.1 Sensores de Temperatura

A utilização de sensores na elaboração de instrumentos para a medida de temperatura tem aumentado nos últimos anos, onde podemos ressaltar dois tipos que atualmente são mais utilizados, os termopares e o termoresistores.

Os termopares são pares de fios de metal dissimilares juntados ao menos em uma extremidade, e que geram uma diferença de potencial entre duas junções, sendo uma a temperatura constante que serve como referência e outra a temperatura que se deseja medir, assim, o valor de tensão varia de acordo com a diferença de temperatura entre as junções, sendo possível estabelecer uma equação de calibração que permite ao usuário coletar medidas de temperatura (PIRES et al., 2006).

A utilização de termopar tem sido muito freqüente em diversos trabalhos devido à facilidade que este tipo de sensor oferece, o qual também pode ser ligado a uma central ("*data logger*") de modo a coletar os dados de temperatura sem precisar de um operador presente, o que não acontece na utilização dos termômetros por exemplo.

Assim, Reinato e Borém, (2006) ao estudar a distribuição da temperatura na direção radial do secador rotativo de café, mediram a temperatura do ar de secagem e da massa de café por meio de termopares distribuídos em 18 pontos no secador, onde se percebeu que independentemente do tipo de combustível, foram observados gradientes máximos de até 25°C na temperatura da direção radial, na seção central do secador, em razão dos maiores valores de pressão estática (637,84 Pa), concluindo que independentemente do combustível usado, o gradiente de temperatura observado longitudinalmente na massa de café foi bem menor do que na direção radial.

Cunha e Escobedo (2001) realizaram um programa em ambiente "Microcal Origin" para tratamento de dados meteorológicos e determinação do balanço de energia pela razão de Bowen, onde coletaram dados instantâneos e diários dos componentes do balanço de energia. Dentre os componentes coletados encontra-se a temperatura do ar, a qual fora coletada utilizando-se termopares de Cobre – Cobalto, e um tempo de

varredura a cada 5 segundos e saída de valores médios a cada 5 minutos, proporcionando assim, maior rapidez e confiabilidade nos resultados obtidos, em função da grande quantidade de dados analisados neste tipo de estudo.

Contudo, muitos equipamentos de medida da temperatura do ar utilizam outro tipo de sensor, o termoresistor, que se encontra fundamentado pela variação da resistência elétrica de metais com a temperatura, fornecendo assim uma base para a sua medição deste elemento climático (SILVA, 2000). Este é o caso das estações automáticas da "*Campbell*" que utilizam o sensor HMP45C e outros "*data loggers*" de pequeno porte com sensores de temperatura embutidos, como o RHT produzido pela NOVUS Produtos Eletrônicos Ltda, que fora utilizado por Velloso (2008) em seu estudo de climatização de galpões de criação suína, onde ele coletou dados de temperatura para controlar o um sistema automatizado de ventilação e nebulização, que manteve os animais em uma condição ambiental mais segura, Muito embora não tenha ocorrido uma melhora nos índices de qualidade seminal dos animais deste grupo.

Seguindo um propósito parecido Pezzopane et al. (1996), com o objetivo de estudar a influência de uma estufa coberta no crescimento de porta-enxertos de seringueira, durante o inverno na região de Campinas-SP, mediram as variações da temperatura utilizando um termômetro de resistência de platina no centro de cada canteiro, dentro de um microabrigo instalado a 0,5 m de altura, possibilitando assim a determinação da temperatura do ar máxima e mínima diárias. Contudo, foi observado que o uso da estufa propiciou um aumento de 5,6 e 2,7°C nos valores médios de temperatura máxima e média do ar, respectivamente, mas não aumentou os valores médios de temperatura mínima do ar, ocasionando modificações microclimáticas causadas pela cobertura da estufa, de modo que 60% dos porta-enxertos conduzidos no seu interior já estavam aptos a enxertia, enquanto que em outros tratamentos, nenhuma planta atingiu o diâmetro mínimo.

Em outra aplicação, Mendonça (2008) também utilizou um sensor resistivo de platina, presente na estação meteorológica automática (EMA), modelo 555ES, instalada no município de Capim-PB ao estimar a evapotranspiração de referência diária pelos métodos empíricos de Penman, Penman-Monteith, Hargreaves, Sarmani, Linacre, Priestley-Taylor e Radiação, onde foi sugerido o uso da equação do método de

Radiação para estimar a evapotranspiração de referência, na destilaria de Miriri S.A., por depender de uma quantidade menor de dados meteorológicos.

Magnabosco et al. (2003), em seu estudo da cultura de tomate, monitorou uma estufa convencional e uma estufa climatizada, de forma a realizar uma análise comparativa dos parâmetros fitossanitários, físico-químicos e de produtividade em cada cultivo. Assim, foram realizadas medidas de temperatura onde se utilizou como sensor LM35, considerado pelos autores um sensor de precisão e de baixo custo, que possibilitou a instalação de três sensores dentro da estufa climatizada e que foram distribuídos estrategicamente. Ao passo que na estufa convencional foram distribuídos dois sensores de temperatura em seu interior e um sensor externo, localizado 5 metros.

2.2.1.2 Sensores de umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar também pode ser medida por sensores eletrônicos, os quais que são baseados em um princípio capacitivo, onde um pequeno capacitor tem como material dielétrico o ar atmosférico e de acordo com a variação de sua umidade ocorre uma diferenciação no sinal devido a uma diminuição ou aumento da sua capacidade dielétrica. Segundo Silva (2000), estes tipos de sensores são bastante sensíveis e apresentam variação linear da capacitância elétrica, com umidade relativa entre 0 a 75% e precisão em torno de 2%. Nesta faixa o tempo de resposta é muito rápido, em torno de alguns milésimos de segundo, muito embora se torne mais lento com a redução da umidade relativa (PEARCY et al.,1989).

Assim, diversos trabalhos tem se baseado em dados coletados por esse tipo de sensor como Velloso (2008) em seu trabalho sobre a climatização interna de galpões com criação suína utilizando o processo de nebulização, o qual utilizou seis sensores (RHS - NOVUS Produtos Eletrônicos Ltda) distribuídos uniformemente de modo a se obter valores concretos de umidade relativa do ar, onde concluiu que, em relação às variáveis reprodutivas, a climatização automatizada não foi suficiente para melhorar a qualidade do ejaculado dos animais submetidos a ela no período de tempo em que o experimento foi realizado.

Em outro trabalho Silveira et al. (2009) afirma que a permeabilidade ao ar é uma propriedade do solo importante na identificação de alterações no espaço poroso do solo causadas pelas práticas de manejo, na estimativa de outras propriedades do solo mais difíceis e onerosas e na composição de modelos de fluxo de fluídos em solos agrícolas e em solos contaminados. Assim, com o objetivo de construir um sistema automatizado de aquisição de dados (módulo eletrônico e programa computacional) para a medida da permeabilidade do solo ao ar em laboratório, foi medida a umidade relativa do ar em dois pontos, antes e após sua passagem pelo solo, de modo que em cada ponto foram colocados dois sensores capacitivos de umidade relativa do ar (modelo HIH – 4000, "*Honeywell*"), o qual possibilitou ao sistema resultado com alto nível de precisão (9,26±0,086 μm^2), ao estimar a remoção de água da amostra durante o processo de medida.

Uma alternativa para se estimar a umidade relativa do ar é o psicrômetro construído com termopar do tipo T, que são sensores de temperatura para bulbo seco e bulbo úmido. Este instrumento apresenta grande praticidade e por isso muitos trabalhos de pesquisa o utilizam como Turco et al. (2008) ao avaliar quatro métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (Makkink, Hargreaves, Tanque Classe A e Radiação Solar) comparando-os com o método de Penman-Montheith, utilizaram termopares do tipo T para aferirem medidas de umidade relativa do ar que dentre outras variáveis possibilitou a eles concluírem que o melhor método para estimativa de evapotranspiração de referência seria o Hargreaves, visto que para os demais métodos a não foi possível se estabelecer uma relação linear.

De modo semelhante, Scaranari et al. (2008) a fim de controlar a temperatura de suas estufas coletaram dados de temperatura do ar, utilizando psicrômetros aspirados, construídos com base em 2 termopares do Tipo – T e um microventilador para o fornecimento de fluxo constante de ar de modo a proporcionar uma evaporação constante da água no cordão, possibilitando, assim, tomadas corretas da umidade relativa do ar, que mostraram um controle satisfatório nos ambientes, oferecendo condições favoráveis para as plantas de bananeira.

2.2.1.3 Sensores de radiação solar

Os instrumentos de medida de radiação mais modernos, encontram-se baseados em sensores que convertem esta em um sinal elétrico, que se conectados a um sistema de armazenamento de dados, senso capazes de gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou em tabelas como descreve Moreira (2001). Estes sensores, geralmente são classificados segundo o tipo de medida que realizam, recebendo diferentes denominações, que se dividem em dois grupos: piranômetros e saldo radiômetros.

O piranômetro dentro da modalidade de sensor eletrônico, tal como o piranômetro "*Eppley*", é um instrumento dotado de um elemento sensível composto por uma série de junções cobre - constatam, (termopares) dispostas radialmente, formando uma termopilha (LATIMER, 1971). As junções quentes são pintadas com tinta negra e as frias recebem um revestimento de sulfato de bário (de cor branca). Quando expostas à radiação solar, essas junções produzem corrente elétrica, posteriormente amplificada e registrada em unidades apropriadas.

Já o saldo-radiômetro é o instrumento utilizado para se medir o saldo de radiação. Possui um elemento sensível que é normalmente representado por duas placas retangulares de resina sintética, dotadas de termopares, tendo uma das faces enegrecida e outra polida. As faces com revestimento polido são fixadas, uma de encontro à outra, de modo que as faces negras ficam dispostas horizontalmente, uma voltada para cima e outra para baixo, absorvendo os fluxos ascendentes e descendentes de energia radiante de todos os comprimentos de onda. A temperatura de cada placa é diretamente proporcional à radiação absorvida. O circuito elétrico é conectado de maneira que seja medido o aquecimento diferencial, o qual está diretamente relacionado com o saldo de radiação. O sensor é protegido por uma cúpula de plástico inflável que o abriga da chuva e da poeira e evita a formação de orvalho sobre as placas. O plástico usado deve ser o mais transparente possível às radiações visível e infravermelha (VAREJÃO-SILVA, 2005).

Desse modo, diversos trabalhos tem utilizados estes instrumentos como Fernandes et al. (2006), que utilizaram dados de uma estação meteorológica automática (EMA) , onde a radiação global foi estimada por um piranômetro, instalado a 1m acima do dossel da planta, onde se analisou a evapotranspiração da cultura de crisântemo, utilizando-se os métodos: tanque evaporimétrico, Camargo, Makkink, radiação solar entre outros, de forma que se obteve melhores estimativas com os métodos que utilizam dados de radiação solar e temperatura, como os da Radiação Solar e Jensen - Heise.

Teixeira et al. (2006), realizou medições da radiação solar global incidente e refletida, utilizando três piranômetros e dois saldo-radiômetro respectivamente. Os equipamentos foram instalados em uma torre meteorológica a 1m acima da folhagem. Os dados foram coletados num sistema de aquisição de dados ("d*ata logger*" da LICOR), programado para fazer aquisições a cada 5 segundos e armazenar médias de cada 10 minutos, onde observou que a radiação refletida na cultura da mangueira representa cerca de 21% a 14% da radiação solar global incidente no período compreendido entre o início da floração a frutificação plena, enquanto que o saldo de radiação na cultura da mangueira representa cerca de 65% da radiação solar incidente no início da floração e cerca de 60% durante a frutificação.

Por fim, Reis et al. (2009) ao estimar a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo da cultura do tomate caqui em ambiente protegido, sob irrigação por gotejamento, utilizando-se o modelo de Penman-Monteith, efetuou medidas através de um sistema de aquisição de dados ("*data logger*") ao qual fora acoplado um Piranômetro (CM3, "*Kipp Zone*") para medida de radiação solar global (Rg). Desse modo, em condições de ambiente protegido, os valores de evapotranspiração encontrados pelos métodos de Penman-Monteith e do lisímetro, acumulados no período de crescimento até a maturação dos frutos, foram de 165,46 e 213,79 mm, respectivamente, representando, na média, uma subestimativa do modelo de Penman-Monteith em 23% do valor encontrado pelo lisímetro.

2.2.2 Microcontroladores

O sistema automatizado de medidas deve fazer a leitura do sinal elétrico do sensor e enviá-la a um drive de memória. Desse modo, é de fundamental importância o uso de um microcontrolador para desempenhar este papel. Entretanto é importante ressaltar que um microprocessador também é capaz de realizar este procedimento, porém o que difere um do outro é que o microprocessador para ser usado, deve ser acoplado a outros componentes. Em resumo, isso significa que o microprocessador é o verdadeiro coração do sistema automatizado de dados, por outro lado o microcontrolador foi projetado para ter tudo num só. Desse modo, não existe a necessidade de outros componentes externos nestas aplicações, uma vez que todos os periféricos necessários já estão contidos no microcontrolador, poupando tempo e espaço na construção dos dispositivos (MATIC; ANDRIC, 2003).

De modo análogo Angnes (2003) relata em seu trabalho a importância do uso de microcontroladores para realizar operações em seqüência sem intervenção humana, segundo o autor muitas vezes conhecidos como computadores embutidos em circuito integrado. Assim, a grande vantagem de utilizar microcontroladores é que estes chegam a custar muitas vezes menos que um transistor, e por se tratar de um circuito integrado (CI), possui uma poderosa Unidade Central de Processamento (CPU) capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos em um curtíssimo espaço de tempo (REBELLO JUNIOR, 2004).

2.2.3 Armazenamento dos dados

O grande diferencial de um sistema automatizado de dados é a possibilidade de armazenar inúmeros dados de diferentes sensores, para possibilitar posteriormente a analise dos dados coletados. No entanto, estes dados coletados precisam ser armazenados em um local, de modo seguro e de fácil acesso, possibilitando assim uma análise mais fidedigna, de uma determinada variável física.

O armazenamento de dados pode ser feito de diversas formas utilizando-se disquetes, “*hard disk*” (HD), “*compact disc*” (CD), “*digital vídeo disc*” (DVD), fita

magnética entre outros. No entanto, fatores como a confiabilidade e tamanho são importantes para um fácil acesso aos dados armazenados, dinamizando o processo. Segundo o guia de memória "*flash*" da Kingston Technology Company (2006), nos anos 80 a Toshiba inventou a memória "*flash*" como uma nova tecnologia de memória que permitia que os dados armazenados fossem salvos mesmo quando o dispositivo de memória estava desconectado de sua fonte de energia. Desde então, a tecnologia de memória "*flash*" evoluiu e tornou-se a mídia de armazenamento preferida para uma variedade de dispositivos de consumo e industriais.

Atualmente um dos tipos de memória "*flash*" mais difundido é o dispositivo com conexão USB, conhecido como "*pen-drive*". Este dispositivo a Toshiba calcula que uma tolerância de 10.000 ciclos de gravação, que permitirá aos clientes gravar e apagar completamente todo o conteúdo uma vez ao dia, por 27 anos, muito além da expectativa de vida do "*hardware*" (KINGSTON TECHNOLOGY COMPANY, 2006). Segundo Williams (2007) o armazenamento em memória "*flash*" com conexão via USB pode chegar a 64GB, com a vantagem de terem leitura e gravação mais rápida de dados, maior resistência a quedas e menor consumo que o atual HD.

2.3 Material e Métodos

2.3.1 Local do Experimento

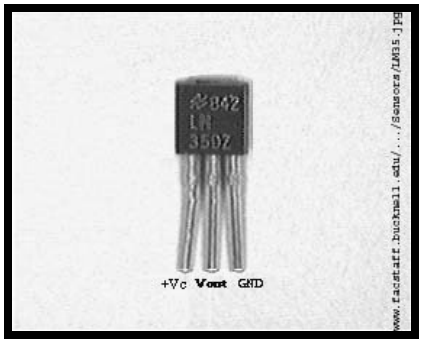
O processo de desenvolvimento do sistema automatizado de medida "*data logger*" foi conduzido nas dependências do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP em Piracicaba – SP. Tal procedimento foi dividido Basicamente em duas etapas: A primeira etapa foi realizada em laboratório e constou da montagem do circuito eletrônico do equipamento, programação dos seus componentes, testes e calibrações preliminares. A segunda etapa constou da instalação do equipamento no posto meteorológico da ESALQ/USP, ao lado de duas estações meteorológicas (convencional e automática), para fins de comparação dos valores obtidos e armazenados pelos sensores eletrônicos. Tais estações estavam situadas a uma altitude de 546m, com latitude: 22° 42' 30" sul e

longitude de 47° 38' 00" oeste. Os dados utilizados nas análises foram coletados durante o fim do período de inverno dos dias 03/08/2009 a 05/10/2009.

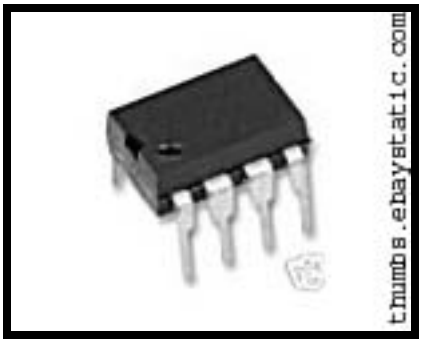
2.3.2 Equipamentos eletrônicos utilizados (Sensores)

2.3.2.1 Sensor de Temperatura do ar

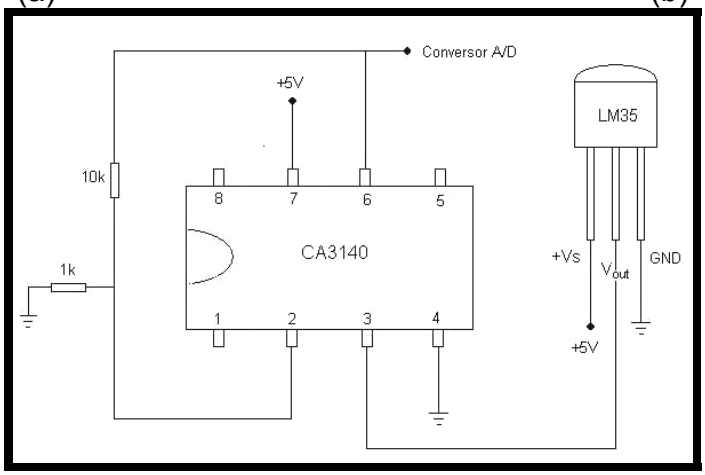
Na coleta de dados da temperatura do ar, utilizou-se o sensor LM35, produzido pela "*National Semiconductor Corporation*" (Figura 1A). O sensor apresenta relação linear entre o sinal emitido e os valores de temperatura coletados, sendo alimentado com uma tensão nominal de 5V. Uma maior sensibilidade (ganho de sinal de 11 vezes) foi obtida, quando acoplado um amplificador operacional tipo CA3140 (Figura 1B), descrito pelo circuito eletrônico (Figura 1C).



(a)



(b)



(c)

Figura 1 - Termoresistor para a obtenção dos valores de temperatura LM35 (a), amplificador operacional tipo CA3140 (b), circuito de ligação sensor - amplificador operacional – microcontrolador (c)

O cálculo do ganho de sinal foi estimado pela eq.1 (VILELA, 1999):

$$G = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \qquad (1)$$

Em que:

G = número de vezes que o valor do sinal será aumentado

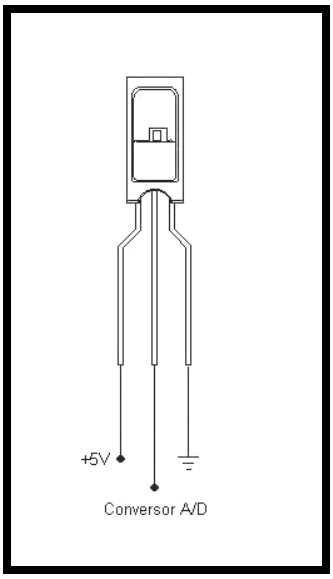
R_2 = resistor de 10kΩ

R_1 = resistor de 1kΩ

2.3.2.2 Umidade relativa do ar

As medições dos valores de umidade relativa do ar foram feitas utilizando-se um sensor HIH - 4000 da "*Honeywell International Inc.*" (Figura 2A), o qual funciona com uma faixa de aproximadamente 2% a 100%, emitindo um sinal que varia dentro da faixa de 0 a 4V, sendo alimentado com uma tensão de 5V, possibilitando sua ligação direta ao conversor A/D do microcontrolador, como mostra a (Figura 2B).

(a)

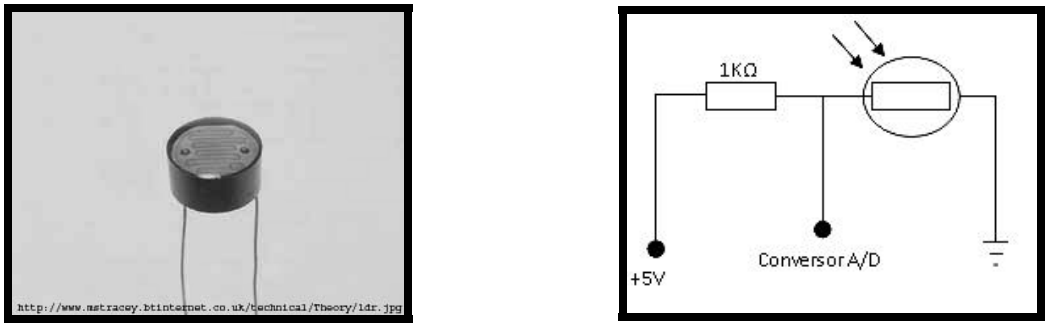


(b)

Figura 2 - Sensor capacitivo para a obtenção dos valores de umidade relativa do ar HIH-4000 (a), circuito de ligação do sensor – microcontrolador (b)

2.3.2.2 Radiação solar

O sensor utilizado para as medidas de radiação solar foi o LDR ("*Light Dependent Resistor*") (Figura 3A), o qual atua dentro de uma faixa de 400nm a 700nm, na qual se encontra a radiação fotossinteticamente ativa. De modo a possibilitar o armazenamento do sinal foi montado um circuito (Figura 3B) sugerido por Antonieti e Oliveira (2005), o qual possibilitou gerar um valor de tensão proporcional a alteração do valor de sua resistência, para isso foi necessária uma alimentação de 5V.



(a) (b)

Figura 3 - Fotoresistor para a obtenção dos valores de radiação solar LDR (Light Dependent Resistor)(a), circuito elétrico para a obtenção de sinal tensão do LDR (b)

2.3.3 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado foi o Basic Step (Tato Equipamentos Eletrônicos), versão brasileira do Basic Stamp, o qual pode ser programado em linguagem PBasic, uma versão mais simplificada da linguagem Basic, o qual possui um custo reduzido pelo fato de ser um produto nacional. Dentre as versões disponíveis fora utilizada o Basic Step 1 (BS1) (Figura 4), o qual dispõe em seu circuito de um regulador de tensão de 5V, 5 conversores A/D de 10 bits, um microcontrolador PIC16F819 ("*Microchip Technology Inc.*") e uma memória com o interpretador PBASIC, no entanto sua alimentação deve estar dentro de uma faixa de 7.5V a 15V, de onde foi escolhida 12V, de modo que ocorra uma melhor performance do microcontrolador. Contudo o microcontrolador ainda conta com 8 pinos de sinal analógico (p0 a p7) que podem ser programados como entradas ou saídas (ANGNES, 2003).

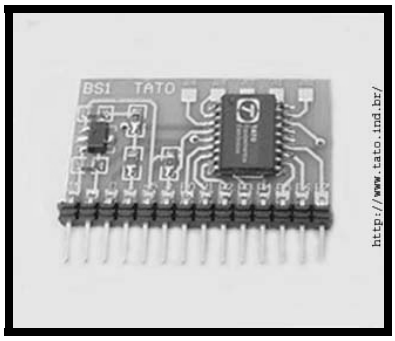


Figura 4 - Detalhe do microcontrolador Basic Step 1

2.3.4 Armazenamento dos dados

O armazenamento dos dados foi feito por um módulo de gravação, o qual foi acoplado ao microcontrolador, de modo a gerar um código na memória, permitindo assim que os dados coletados fossem posteriormente decodificados e compreendidos pelo usuário. Desse modo, utilizou-se o módulo embarcado PenBS (Tato Equipamentos Eletrônicos) (Figura 5), que se encontra baseado no chip VNC1L-1A da "*FTDI/Vinculum"*, o qual dentre diversos outros recursos ofereceu a comunicação com um "*pen drive*" ("*Flash Disk"*). Para tal, utiliza-se de 6 pinos, sendo possível estabelecer comunicação através das interfaces UART e SPI, onde fora escolhida a conexão com interface serial UART descrita por Messias (2007), por possuir melhor compatibilidade com o microcontrolador, gravando os dados recebidos em um arquivo simples de texto (.txt).

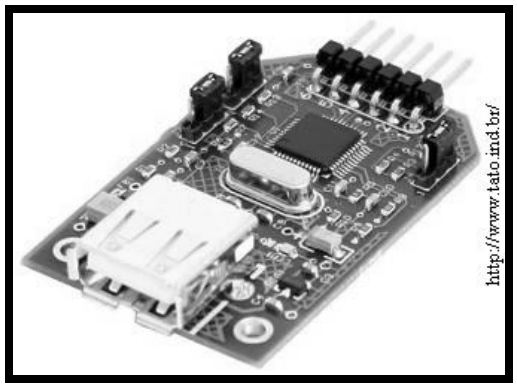


Figura 5 - Módulo de gravação de dados PenBS

2.3.5 Comunicação microcontrolador - módulo de gravação

A comunicação entre o microcontrolador e o módulo de gravação pode ocorrer em diversas velocidades, de modo a minimizar o tempo de comunicação entre microcontrolador e módulo. Assim, o microcontrolador utilizado, BS1, atuou com uma velocidade máxima de comunicação de 2400 bits por segundo (bps), enquanto o módulo PenBS o qual vem com um "*firmware*", o qual trata-se de um arquivo com extensão "**.**ROM" gravada em seu chip o "VNC1L", cuja velocidade de comunicação é de 9600bps, o que impossibilitou a comunicação entre módulo e microcontrolador.

Desse modo, antes de estabelecer a comunicação foi necessário reprogramar o "VNC1L", com um novo "*firmware*", alterando a velocidade de comunicação do módulo PenBS para o valor de 2400bps. O módulo foi reprogramado, utilizando-se o circuito descrito na Figura 6, o qual fora sugerido por Messias (2007), no qual o PenBS foi conectado à porta serial de um microcomputador, por meio de um CI (circuito integrado) do tipo MAX232.

O "*firmware*" utilizado para compilar o "VNC1L", foi do tipo "VDAP" ("*Vinculum Disk And Peripheral interface*"), o qual é responsável pelo acesso às portas USB do "VNC1L", estabelecendo uma interface entre microcontrolador (BS1) e o disco de memória "*flash*" ("*pen-drive"*). Contudo, a atualização do "*firmware*" foi feita utilizando-se um programa chamado "VPROG", cuja comunicação com o microcomputador foi estabelecida pela porta RS232.

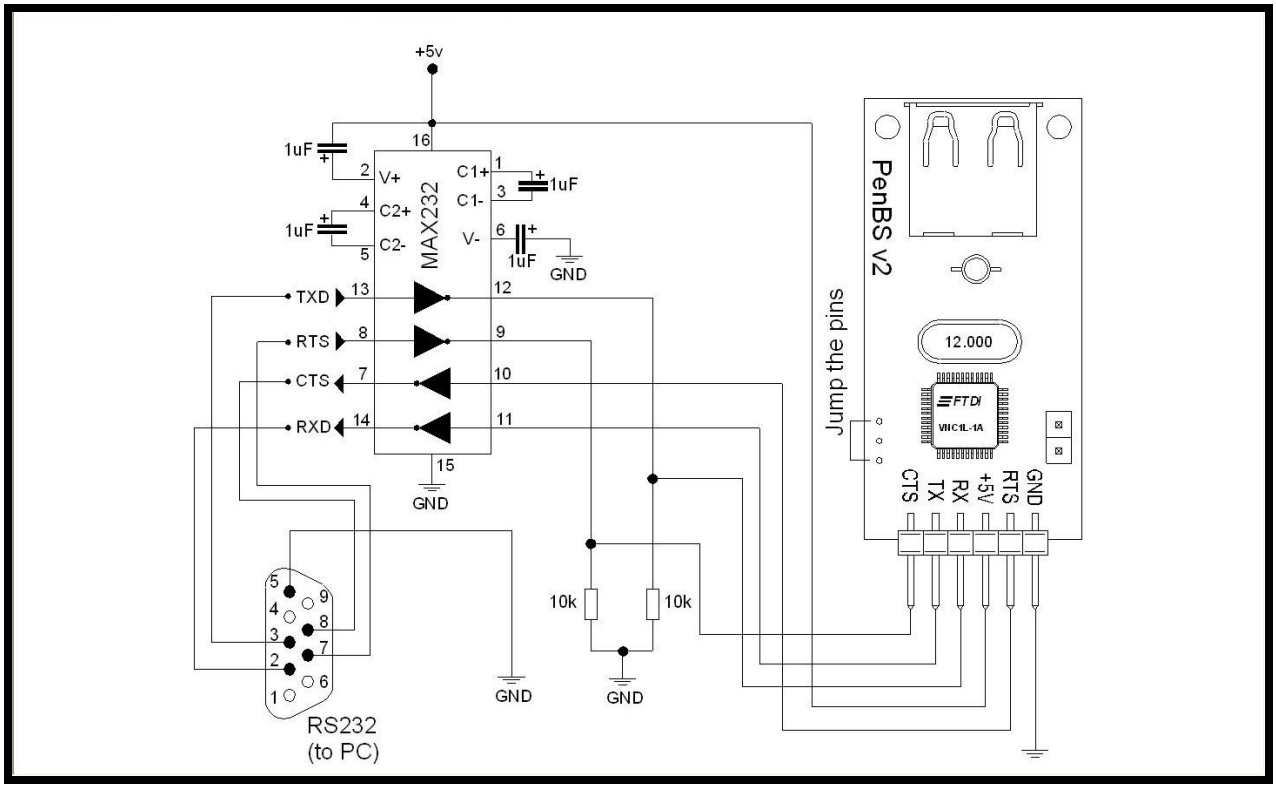


Figura 6 – Esquema para reprogramação do módulo PenBS

Após reprogramar o “VNC1L”, estabeleceu-se a ligação entre o microcontrolador e módulo pela interface de comunicação serial “UART” (Figura 7). Para isso, foram utilizados dois pinos, denominados TX e RX, onde o primeiro tem a função de receber os dados do microcontrolador, enquanto que o segundo envia os dados da memória flash ao microcontrolador. Assim, pelos comandos gravados no BS1, foi enviado um sinal para o módulo, que abriu um arquivo anteriormente gravado no “*pen drive*” com extensão “.txt”, onde encontram-se gravados o tempo de leitura e o número de conversores A/D que devem ter o seu sinal gravado no arquivo, em seguida envia estas informações ao microcontrolador que faz a leitura de cada conversor A/D e reenvia o sinal para que o PenBS possa gravar os dados de cada leitura, em formato de coluna (seqüencial), ou seja um dado por linha, sendo que após a gravação o arquivo é fechado até o momento da próxima leitura.

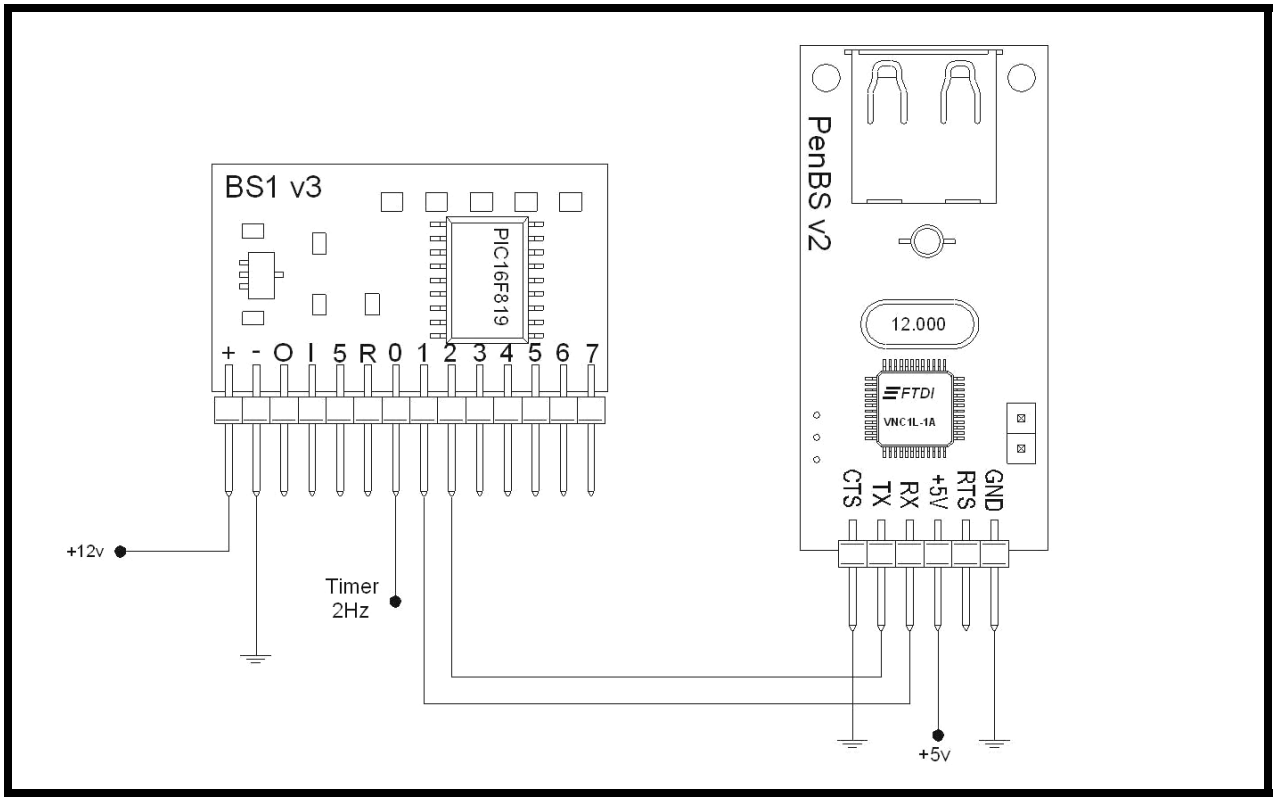


Figura 7 – Esquema de comunicação entre BASIC Step 1 e PenBS

2.3.6 Circuitos auxiliares

O circuito do Data-Basic foi composto principalmente pela ligação do microcontrolador ao módulo PenBS e dos sensores aos conversores A/D do BS1. No entanto, para melhorar desempenho e facilitar a utilização do equipamento foram acoplados ao "*data logger*" outros circuitos como: um temporizador, um regulador de tensão e um led indicador de funcionamento, que serão detalhados a seguir.

2.3.6.1 Temporizador

O sistema automatizado de medidas teve por base a coleta dos dados durante um período de tempo pré-estabelecido, o qual deveria seguir rigorosamente pelo microcontrolador, de forma que todas as medidas tenham preferencialmente o mesmo intervalo de tempo. O Basic Step1 ofereceu o recurso de intervalo de tempo, porém

existe um erro associado, que para intervalo de tempo utilizado no instrumento, pode ser considerado relevante.

Assim, para se obter um período de leituras mais rigoroso, acoplou-se ao "*data logger*" um circuito de temporizador, para melhorar a periodicidade de leitura do equipamento. O circuito utilizado está descrito na Figura 8, o qual é composto por um cristal de quartzo, com freqüência de 32.768 Hz, um CI do tipo CD4060DE, dois capacitores de 33pF, e dois resistores um de 10MΩ e outro de 220kΩ. Contudo, este circuito é ligado ao pino 0 do microcontrolador por meio do CI, permitindo assim, que o microcontrolador efetue as medidas de tempo em um intervalo com um erro desprezível para o tipo de medidas do instrumento.

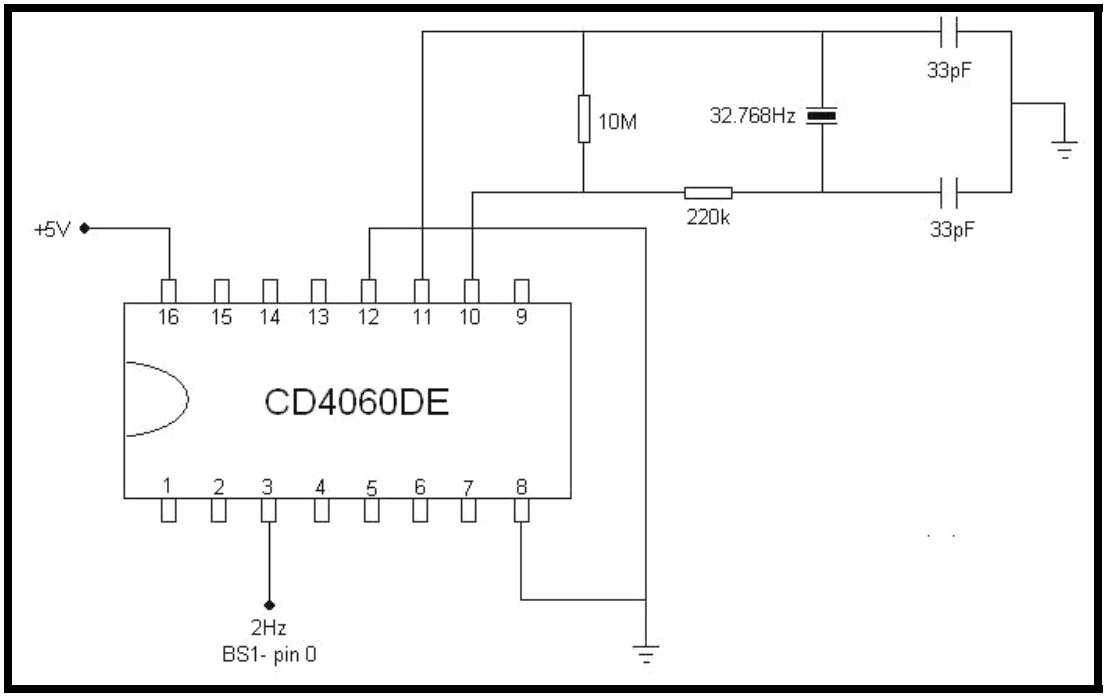


Figura 8 - Circuito do temporizador acoplado ao BASIC Step 1

2.3.6.2 Regulador de tensão

O Data-Basic, foi montado com base em diversos componentes, como os sensores, o módulo de armazenamento, entre outros componentes eletrônicos, os quais utilizaram um valor de tensão de 5V. Entretanto para o funcionamento do

microcontrolador BS1 foi necessário um valor de tensão de 12V. Desse modo, foi necessário utilizar uma fonte de 12V e reduzir sua tensão para elementos do circuito que funcionam com 5V. Este problema foi solucionado colocando-se um circuito regulador de tensão (Figura 9), o qual tem por função reduzir os 12V fornecido pela fonte alimentadora para 5V. Este circuito foi composto por um transistor do tipo KA7805, dois capacitores cerâmicos de 0,1μF e 0,33μF e um interruptor para desligar o aparelho.

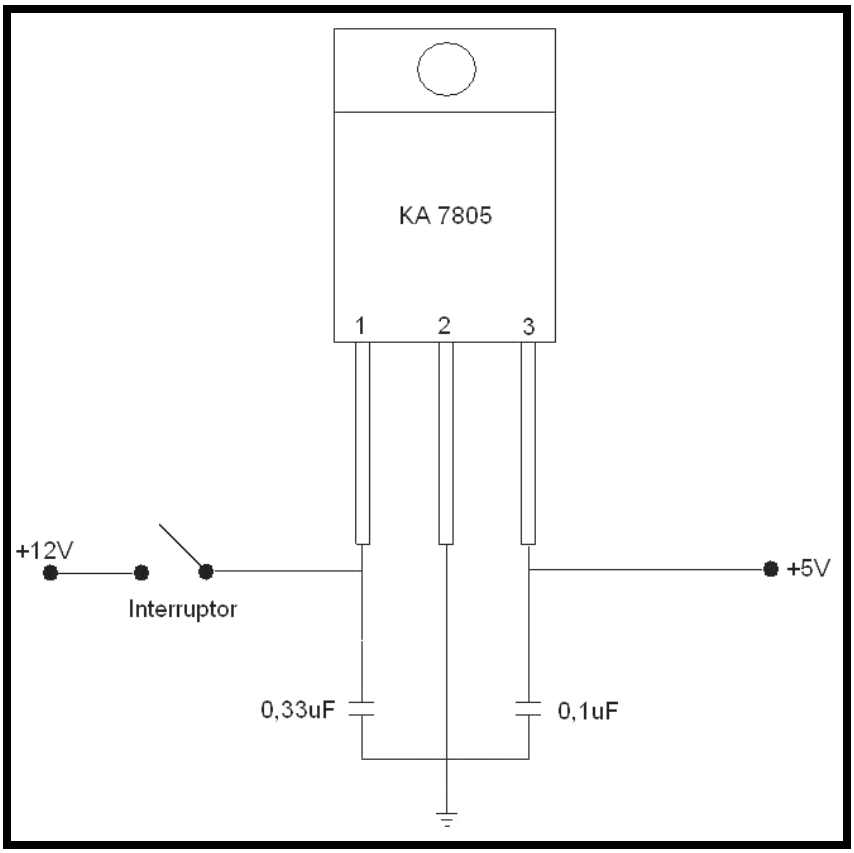


Figura 9 – Circuito regulador de tensão

2.3.6.3 Led indicador de funcionamento

O led indicador de funcionamento foi um item importante, pois garante ao usuário, o funcionamento do equipamento, impedindo que ocorram erros de operação que possam ocasionar a perda de dados. O circuito utilizado foi bem simples, onde

apenas se acoplou um resistor de 470Ω ao led, de modo a evitar uma sobrecarga que poderia queimar o dispositivo (Figura10).

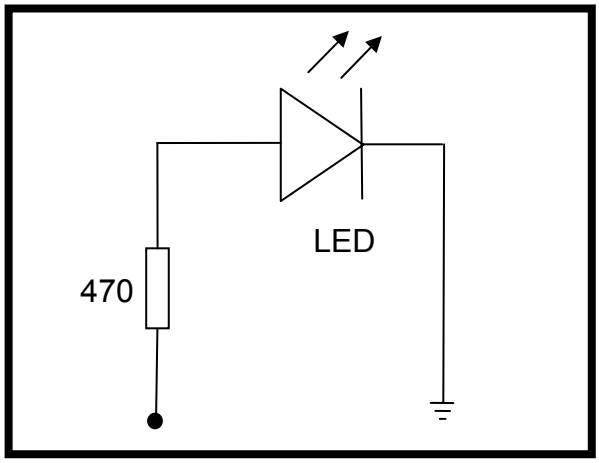


Figura 10 - Circuito do led indicador de funcionamento

2.3.7 Rotinas de programação e software para manuseio dos dados coletados

Na elaboração do Data-Basic foram utilizados dois tipos de programação, uma programação na linguagem PBasic, inserida no microcontrolador com os comandos necessários ao seu funcionamento e a elaboração de um "*software*" em linguagem Visual Basic 6.0 para a interpretação dos dados coletados, de modo a garantir ao usuário uma maior praticidade de sua utilização.

A programação em linguagem PBasic foi responsável pelo processo de leitura e coleta dos dados (Anexo A), a qual foi inserida na memória do microcontrolador utilizando-se o compilador Basic Step e cuja sequência da rotina encontra-se descrita no fluxograma (Figura 11).

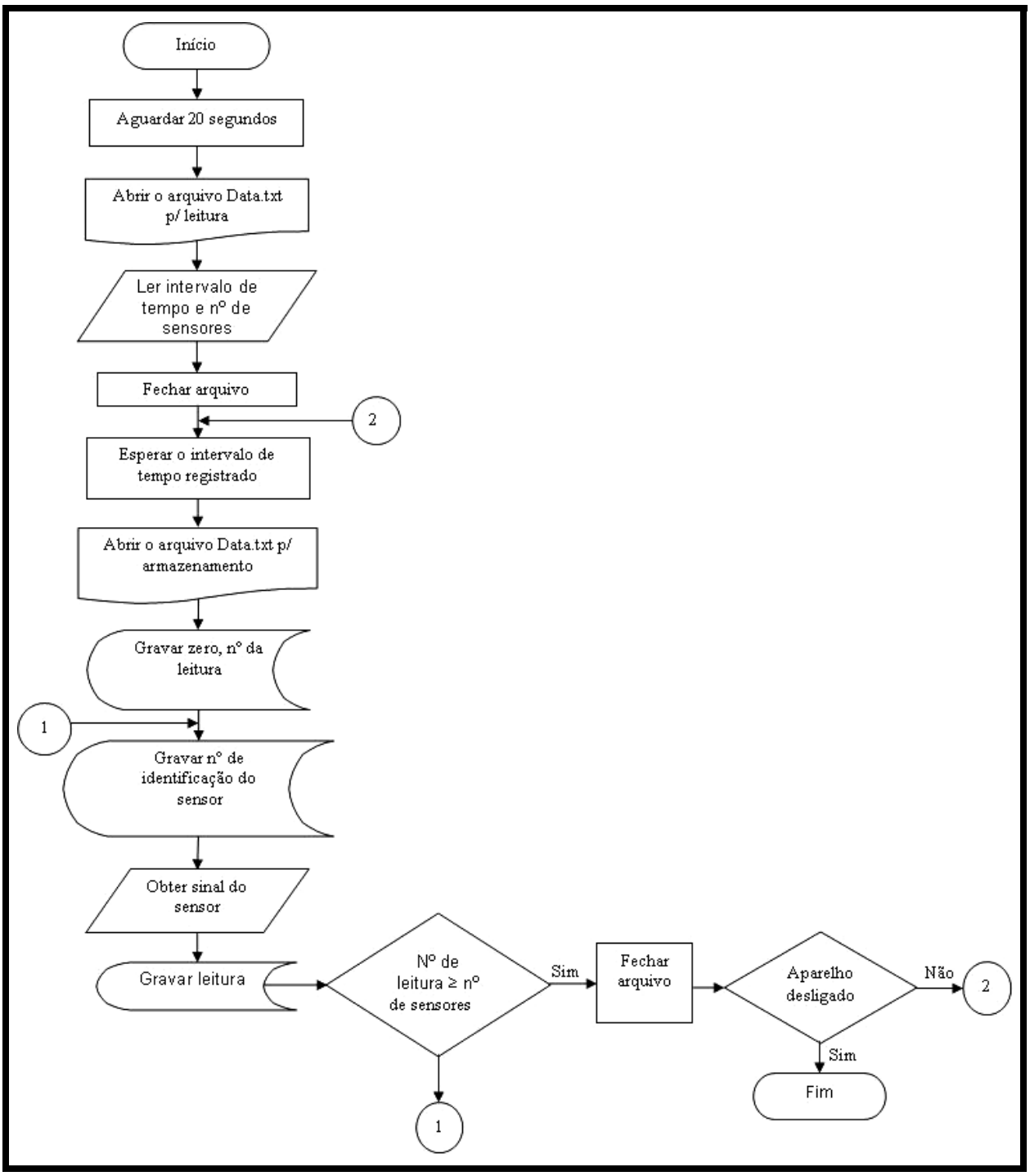


Figura 11- Fluxograma da rotina de programação Basic Step 1

O processo descrito no fluxograma foi repetido para cada leitura efetuada pelo "*data logger*". Assim, caso o equipamento fosse programado, por exemplo, com um intervalo leitura de 15 minutos, isso significa que a cada 15 minutos esse processo irá

se repetir. Contudo, para que o Data-Basic grave os dados no "*pen-drive*" é necessário que este tenha um arquivo de texto (.txt) com nome "Data", onde antes de se iniciar a coleta de dados deverá ser gravado o tempo de leitura em minutos com três algarismos e o número de sensores lidos também com três algarismos, em seguida o usuário deve dar um comando "ENTER" para que a leitura se inicie na próxima linha e salvar o arquivo. Assim, após a coleta dos dados, caso o usuário abrir o arquivo, será encontrada uma série de números gravados em forma de coluna (seqüencial) (Figura12).

```
015.003          Tempo de leitura . numero de sensores
0                Marco de início da leitura
1                Numero de leitura (leitura 1)
10               sensor 1
627              leitura do sensor 1
20               sensor 2
190              leitura do sensor 2
30               sensor 3
527              leitura do sensor 3
0                Marco de início da leitura
2                Numero de leitura (leitura 1)
10               sensor 1
626              leitura do sensor 1
20               sensor 2
207              leitura do sensor 2
30               sensor 2
547              leitura do sensor 3
```

Figura 12 - Ilustração do arquivo Data.txt após a coleta de dados realizada pelo Data-Basic

Desse modo, para facilitar ao usuário uma melhor visualização e interpretação dos valores registrados pelo equipamento, desenvolveu-se um "*software*" em linguagem de programação Visual Basic 6.0 denominado Data Basic - Software, o qual fora alimentado pelos dados coletados e armazenados em formato texto (.txt), de forma que possibilitou sua visualização mediante uma interface gráfica e proceder a análises estatísticas com a finalidade de promover uma maior e mais rápida interpretação dos resultados das variáveis climáticas que estão sendo monitoradas (em tempo real), por parte do usuário, facilitando assim o processo.

Além disso, o Data Basic - Software (Figuras 14A e 14B) possibilitará ao usuário o reconhecimento de situações tais como: tempo inicial e tempo final da coleta dos dados, criar um arquivo em planilha, etc., o que permitirá tanto por meio de gráficos

quanto análise estatística, ao longo do período de coleta dos dados definido anteriormente pelo usuário. A programação do "*software*" está descrita em um fluxograma abaixo (Figura13) e a rotina desenvolvida para sua elaboração encontra-se no Anexo B.

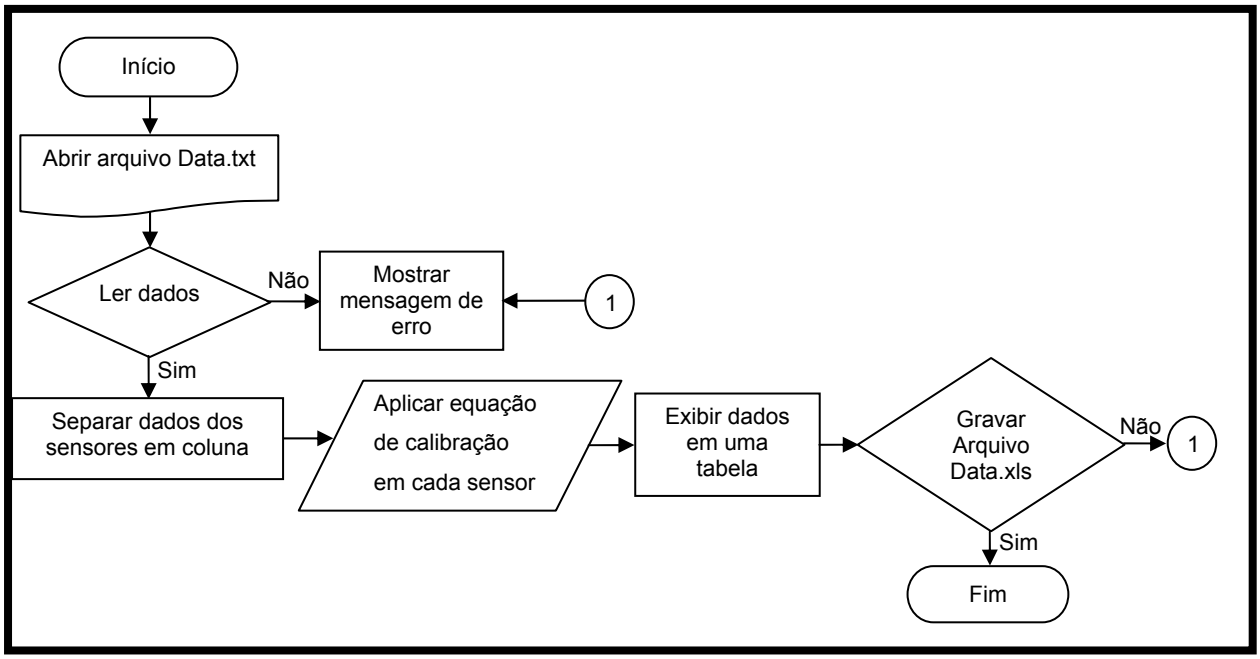
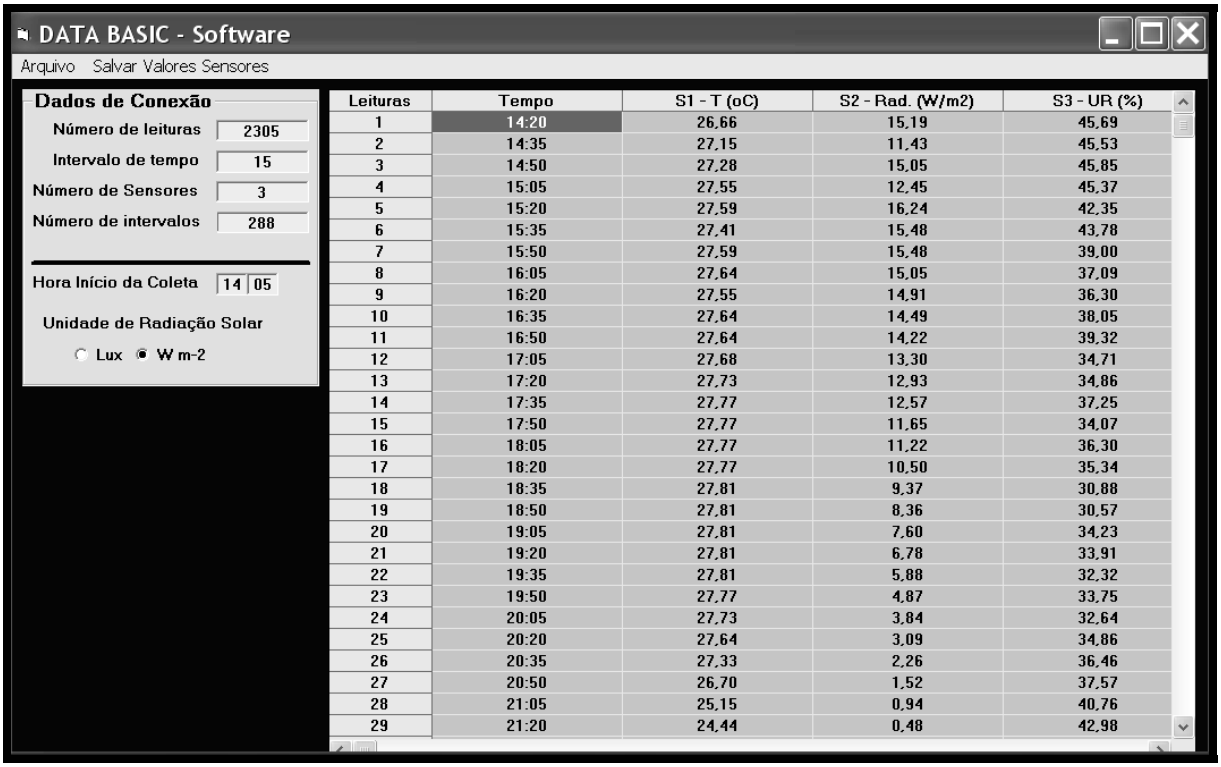
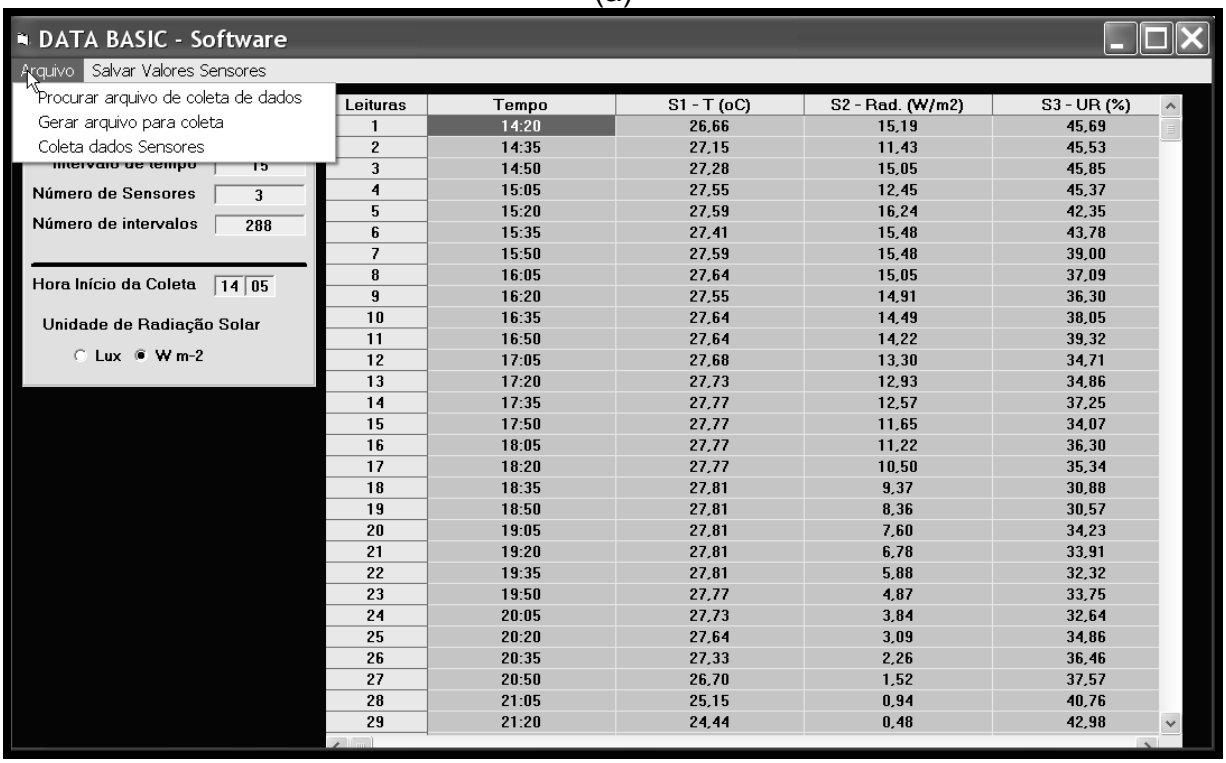


Figura13 - Fluxograma do "*software*" desenvolvido em Visual Basic 6.0 para interpretação dos dados coletados



Leituras	Tempo	S1 - T (oC)	S2 - Rad. (W/m2)	S3 - UR (%)
1	14:20	26,66	15,19	45,69
2	14:35	27,15	11,43	45,53
3	14:50	27,28	15,05	45,85
4	15:05	27,55	12,45	45,37
5	15:20	27,59	16,24	42,35
6	15:35	27,41	15,48	43,78
7	15:50	27,59	15,48	39,00
8	16:05	27,64	15,05	37,09
9	16:20	27,55	14,91	36,30
10	16:35	27,64	14,49	38,05
11	16:50	27,64	14,22	39,32
12	17:05	27,68	13,30	34,71
13	17:20	27,73	12,93	34,86
14	17:35	27,77	12,57	37,25
15	17:50	27,77	11,65	34,07
16	18:05	27,77	11,22	36,30
17	18:20	27,77	10,50	35,34
18	18:35	27,81	9,37	30,88
19	18:50	27,81	8,36	30,57
20	19:05	27,81	7,60	34,23
21	19:20	27,81	6,78	33,91
22	19:35	27,81	5,88	32,32
23	19:50	27,77	4,87	33,75
24	20:05	27,73	3,84	32,64
25	20:20	27,64	3,09	34,86
26	20:35	27,33	2,26	36,46
27	20:50	26,70	1,52	37,57
28	21:05	25,15	0,94	40,76
29	21:20	24,44	0,48	42,98

(a)



Leituras	Tempo	S1 - T (oC)	S2 - Rad. (W/m2)	S3 - UR (%)
1	14:20	26,66	15,19	45,69
2	14:35	27,15	11,43	45,53
3	14:50	27,28	15,05	45,85
4	15:05	27,55	12,45	45,37
5	15:20	27,59	16,24	42,35
6	15:35	27,41	15,48	43,78
7	15:50	27,59	15,48	39,00
8	16:05	27,64	15,05	37,09
9	16:20	27,55	14,91	36,30
10	16:35	27,64	14,49	38,05
11	16:50	27,64	14,22	39,32
12	17:05	27,68	13,30	34,71
13	17:20	27,73	12,93	34,86
14	17:35	27,77	12,57	37,25
15	17:50	27,77	11,65	34,07
16	18:05	27,77	11,22	36,30
17	18:20	27,77	10,50	35,34
18	18:35	27,81	9,37	30,88
19	18:50	27,81	8,36	30,57
20	19:05	27,81	7,60	34,23
21	19:20	27,81	6,78	33,91
22	19:35	27,81	5,88	32,32
23	19:50	27,77	4,87	33,75
24	20:05	27,73	3,84	32,64
25	20:20	27,64	3,09	34,86
26	20:35	27,33	2,26	36,46
27	20:50	26,70	1,52	37,57
28	21:05	25,15	0,94	40,76
29	21:20	24,44	0,48	42,98

(b)

Figura 14 – Tela do Data Basic - Software desenvolvido em Visual Basic 6.0 para separar e aplicar as equações de calibração nos dados de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar (a) e Tela do Data Basic - Software com sub-menu de opções para o usuário (b)

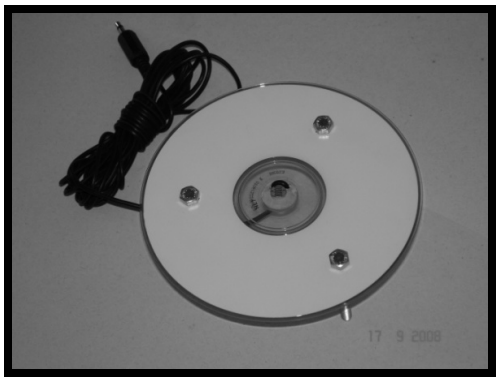
2.3.8 Coleta de dados

2.3.8.1 Instalação do equipamento em campo

O Data-Basic foi montado no posto meteorológico da ESALQ-USP, juntamente com a estação meteorológica automática (EMA) e estação meteorológica convencional (EMC), de modo a possibilitar uma análise comparativa entre os dados da “data logger” e das estações meteorológicas (Figura 15A). Os sensores de umidade relativa do ar e temperatura do ar do Data-Basic (Figura 15B), foram instalados com uma cobertura perfurada acoplada, visto que a exposição à chuva e ao sol poderia danificá-los, porém tal proteção deveria ser colocada de modo a não influenciar as medidas, mediante a ocorrência de um microclima, devendo apenas favorecer a circulação de ar, enquanto que no sensor de radiação solar (figura 15C) não foi acoplado nenhum tipo de proteção de modo a evitar interferências em suas medidas.

(a)

(b)



(c)

Figura 15 – Sistema automatizado de medidas Data-Basic (a), sensores de temperatura e umidade relativa do ar (b) e sensor de radiação solar (c)

2.3.8.2 Equações de calibração

Os dados coletados foram armazenados convertendo um sinal elétrico de caráter analógico em um sinal digital medido em bits. No entanto, foi necessário converter esse valor em bits para valores da escala de medida das variáveis, o que faz necessário a utilização de equações matemáticas que estabeleçam uma relação entre o valor em bits e o valor correspondente na devida escala de medida.

Os sensores enviam ao microcontrolador um sinal analógico em volts, que é convertido em bits pelo conversor analógico digital (A/D) do mesmo. O Basic Step 1 trabalha em uma faixa de 0 a 5V e possui conversores A/D de 10 bits, que gera valores dentro de uma faixa de 0 a 1023 bits. Desse modo, dividindo-se a faixa de tensão pela faixa de valores em bits (eq. 2), foi possível estabelecer a relação entre o valor em bits e o sinal analógico, descrito pela eq. 3.

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta b} = \frac{5}{1023} = 0{,}004887586 \qquad (2)$$

Em que:
S = relação entre o sinal analógico em volts e o sinal digital em bits (volts/bit)
ΔV = faixa de voltagem, volts; e
Δb = faixa de bits

$$V = B.S \qquad (3)$$

Em que:
V = sinal, volts ; e
B = sinal coletado, bits.

Além disso, foram utilizadas outras equações de calibração, de modo a possibilitar a conversão dos valores de cada sensor do Data-Basic, em suas devidas unidades.

Assim, para a temperatura do ar, foi utilizada uma calibração do fabricante, que trabalha com sinal analógico em volts. Desse modo, utilizando-se as equações 2 e 3, para converter o valor gravado no arquivo de texto de bits para volts e considerando a amplificação de 11x dado pela equação 1 chegou-se à relação matemática descrita pela eq. 4:

$$T = \frac{100.V}{11} \tag{4}$$

Em que:

V = sinal, volts ; e

T = temperatura, ºC.

De forma análoga para o sensor de umidade relativa do ar, também se utilizou uma calibração de fábrica e que utiliza um sinal analógico, a qual também necessitou ser adaptada aplicando-se as equações 2 e 3 para ajustar os valores do sinal, onde se obteve a eq. 5.

$$UR = \frac{V - 0{,}958}{0{,}0307} \tag{5}$$

V = sinal, volts ; e

UR = umidade relativa do ar, %.

Por fim, o sensor de radiação solar que utilizou um circuito descrito por Antonieti e Oliveira (2005), e conseqüentemente sua equação de calibração (equação 6), a qual possui um valor de R^2 = 0,9184. No entanto, a equação trabalha com valores de tensão onde foram aplicadas as equações 2 e 3, e com valores de Lux para a radiação solar, sendo então converter a unidade utilizando a relação descrita por Villa Nova et al. (2001)(equação 7).

$$R_{Lux} = 151716.e^{(-1,9407V)} \quad (6)$$

Em que:

V = sinal, volts ; e

R_{Lux} = radiação fotossinteticamente ativa, Lux.

$$R = \frac{R_{Lux}}{93} \quad (7)$$

Em que:

V = sinal, volts ; e

R = radiação fotossinteticamente ativa, W m^{-2}

2.3.8.2 Metodologia de análise dos dados coletados

As análises foram realizadas utilizando-se dados coletados, com um intervalo de tempo de 15 minutos, os quais foram coletados de modo sincronizado com as leituras da estação meteorológica automática (EMA), a qual serviu como referência de valores possibilitando análises de forma direta entre os dados coletados pelos dois equipamentos. Em outra análise foram utilizados como referência os dados diários da estação meteorológica convencional (EMC), para isso foram calculadas médias diárias dos dados coletados pelo Data-Basic (eq. 8).

As análises foram realizadas utilizando-se dois métodos o índice de dispersão dos dados (R^2) e a equação de erro médio descrita pela eq. 9.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{n} D(i)}{N} \quad (8)$$

Em que:

M = média diária

D(i) = valores coletados pelo Data-Basic

N = número de medidas realizadas em um dia

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (A(i) - D(i))^2}{N}} \quad (9)$$

Em que:

E = erro médio

A(i) = valores da série utilizada como referência

D(i) = valores coletados pelo Data-Basic

N= número de dados analisados no período

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Montagem do circuito eletrônico do Data-Basic

A principal conexão do circuito, estabelecida entre o microcontrolador BS1 e o modulo de gravação PenBS, foi feita pela interface serial UART, a qual demonstrou um perfeito funcionamento, após a reprogramação do chip VNC1L, presente no PenBS, o qual passou a atuar com uma velocidade de conexão de 2400bps. Assim, a comunicação estabelecida, permitiu ao microcontrolador gerenciar todo o processo de coleta de dados, desde o instante em que se iniciava a leitura dos dados até o momento de seu armazenamento.

Dentre os testes realizados para a montagem do circuito, a placa foi testada em uma outra versão (com menor custo), o Basic Step1 OEM, o qual apresenta um custo em torno de 50% do preço do BS1 original e possui as mesmas funções e especificações do BS1, porém não foi utilizado no circuito final do Data-Basic devido a um erro de montagem no circuito que o danificou mecanicamente. Entretanto, verificou-se que ficou demonstrada a eficiência e rigor em seu funcionamento semelhante ao BS1 original, porém este não foi testado em condições de campo e por um tempo maior, o que impossibilitou uma discussão sobre sua durabilidade e eficiência em longo prazo de coleta.

Contudo, o microcontrolador BS1, utilizado, demonstrou coesão e rigor em seu funcionamento, juntamente com o módulo de gravação, coletando perfeitamente os

dados e não agregando erros às leituras dos sensores acoplados ao "*data-logger*" sendo assim uma opção viável no armazenamento automático de dados climáticos.

Os circuitos auxiliares agregados ao Data-Basic, foram de grande valia, uma vez que por meio deles foi possível agregar ao equipamento maior número de funções, tornando-o mais robusto e eficiente, porém em relação à capacidade de memória do microcontrolador, pode-se dizer que foi um fator crucial na sua escolha devido à quantidade de comandos necessários ao microcontrolador para gerenciá-los e o tamanho máximo possível da rotina de programação a ser inserida no BS1.

Desse modo, decidiu-se pela utilização de um temporizador e não de um relógio para o registro da hora e data das medidas devido à quantidade de comandos necessários ao microcontrolador, enquanto que o temporizador mostrou tanta eficiência quanto e relógio e uma menor quantidade de comandos para sua programação. Assim as medidas realizadas pelo instrumento foram coletadas com um intervalo de tempo de ótima precisão, apresentando um erro a cerca de 1 segundo, durante um período de quarenta dias de leitura, o qual pôde ser considerado desprezível para o intervalo de tempo medido em minutos. Pelo "*software*" de interpretação dos dados foi possível inserir o horário em que se iniciou a coleta dos dados, possibilitando a este o cálculo da data e horário de cada medida.

Outro circuito auxiliar utilizado foi o regulador de tensão, que demonstrou eficiência e uma variação desprezível no valor de tensão inserido nos componentes do circuito. Entretanto devido à quantidade de componentes que utilizam seu sinal, o transistor KA7805 apresentou grande aquecimento no momento da coleta dos dados, porém não influenciou seu funcionamento e nem causou danos, uma vez que o tempo de aquecimento foi muito pequeno para ocasionar problemas.

Contudo, o LED indicador de funcionamento, acoplado ao sistema demonstrou ser de grande valia e um perfeito funcionamento, principalmente em momentos onde se apresentava dúvidas da presença de energia elétrica no circuito, de modo a se evitar a não coleta dos dados pelo fato do equipamento encontrar-se desligado, além disso, possibilitou ao usuário identificar se no momento da coleta o aparelho encontrava-se em funcionamento.

2.4.2 Programação do microcontrolador e "*software*" de análise de dados

Durante a programação do microcontrolador houve grande dificuldade devido à sua pequena quantidade de memória, sendo este, o fator primordial na escolha de circuitos auxiliares. Assim, visando desenvolver um aparelho de baixo custo, insistiu-se no uso do Basic Step 1, porém acoplando-se o mínimo de componentes desnecessários à autonomia do sistema, uma vez conhecida a dificuldade de se realizar sua rotina de programação.

A solução encontrada foi simbolizar variáveis extensas, por letras e códigos, minimizando assim o tamanho de sua escrita e conseqüentemente o tamanho da rotina de programação. Além disso, recursos como escolhas e repetir a opção anterior utilizando o mesmo código ajudaram em muito a diminuir o tamanho da rotina. Desse modo, a rotina apresentou um excelente desempenho, muito embora seu tamanho tenha ocupado quase 100% da memória do BS1, mas que não afetou seu desempenho em nenhum momento durante o processo de coleta de dados.

O software elaborado para análise dos dados coletados realizou de forma eficiente as diversas funções como identificar e separar os valores de tempo e dos dados de cada sensor. Além disso, facilitou ao usuário a interpretação dos dados aplicando as equações de calibração de cada sensor de modo a converter o sinal medido na unidade desejada. Por fim, o "*software*" ainda gera uma tabela com os dados em Excel, o que possibilitou ao usuário uma facilidade posterior na manipulação dos dados coletados, para exibi-los graficamente, bem como, utilizando outros recursos oferecidos por planilhas eletrônicas (ex. Microsoft Excel). Desse modo, pode-se afirmar que o software facilitou a utilização do equipamento pelo usuário dando um caráter gráfico, evitando a necessidade de se realizar cálculos e aplicação de equações de calibração o que viabilizou a utilização do equipamento por qualquer tipo de usuário.

2.4.3 Análise dos dados coletados

Os dados coletados pelo Data-Basic foram analisados em vários momentos de modo a conferir se o equipamento armazenava os dados sem interferir no valor do sinal do sensor e com um intervalo de tempo adequado, averiguando-se também se não apresentaria falhas ao longo do processo.

Assim, a primeira análise foi feita ainda na placa de testes, onde o equipamento ficou ligado por cerca de 40 dias, porém ao invés dos sensores, foi acoplado um potenciômetro ligado a uma tensão de 5V, de modo que fosse emitido um sinal de tensão constante a ser registrado, pois o objetivo desta análise foi apenas averiguar a periodicidade das medidas e encontrar possíveis falhas na coleta de dados que deveriam ser corrigidas antes de se montar o circuito definitivo do aparelho. Os resultados desta análise comprovaram a eficiência do aparelho, que apresentou um erro (diferença) de cerca de um segundo em 40 dias, sendo as coletas realizadas com um intervalo de tempo de 15 minutos. Nesse caso, o erro pode ser considerado desprezível em relação ao tempo de medida e ao erro que pode ser cometido pelo usuário ao manipular o aparelho para o resgate dos dados.

Outra análise foi feita com o circuito montado para averiguar se o sinal emitido pelo sensor estava sendo armazenado pelo Data-Basic no intervalo de tempo estipulado e sem gerar interferências no valor do sinal. Desse modo, foram coletados dados com o intervalo de um minuto, onde era medido o sinal do sensor, para posteriormente ser comparado com o sinal armazenado pela central do equipamento, onde ficou comprovada sua eficácia, pois os valores medidos com o multímetro foram praticamente idênticos aos valores armazenados, considerando-se um erro na conversão de volts para bits e de bits para volts, além de uma possível influência devido a uma não precisão do multímetro, foi possível afirmar que o Data-Basic promove a coleta dos dados sem aferir erro significativo nas medidas efetuadas pelos sensores.

Contudo, o último tipo de análise foi feita no campo, onde instalou-se o Data-Basic de modo a comparar seus dados, com os dados coletados pelas estações meteorológicas (convencional e automática). No entanto alguns erros ocorreram durante a primeira coleta de dados que se deu entre 15/01/2009 a 08/07/2009, mas que

infelizmente só foram percebidos no momento de sua análise, como falha na coleta dos dados devido à interrupção do fornecimento de energia elétrica, oxidação dos sensores devido à exposição das condições climáticas de um ambiente sem cobertura.

A falha na coleta de dados foi agravada devido a um intervalo de tempo de resgate que fora em média de sete dias, armazenando-se cerca de 700 medidas por sensor, gerando um total de 2100 medidas, as quais foram armazenadas em uma única coluna inviabilizando qualquer tipo de análise sem a utilização do "*software*" de análise de dados que na época ainda estava em processo de elaboração. Desse modo, não se observou que o sistema reiniciava algumas vezes, deixando de coletar os dados em um determinado período e voltando a coletar em outro momento qualquer, porém devido à ausência de um relógio não foi possível determinar o momento que o instrumento voltara a funcionar, o que inviabilizou as comparações destes resultados e demonstrou a necessidade de se resgatar os dados com maior freqüência, ou ainda se acoplar uma bateria ao equipamento, nos casos em que seja necessário um grande intervalo para o seu resgate, de modo a evitar que falhas no fornecimento e energia elétrica comprometam a série de dados coletados.

Outro problema apresentado foi a oxidação dos sensores devido a exposição às condições climáticas severas que um ambiente aberto oferece. Assim, os resultados mostraram que seria essencial o isolamento dos terminais elétricos de todo os sensores, a utilização de fios de boa qualidade e que apresentem baixa oxidação, visto que a qualidade do fio pode interferir na oxidação deste e gerar erros ou até mesmo perdas no processo de coleta dos dados. Além disso, o sensor de radiação (LDR) apresenta fácil oxidação mostrando a necessidade de se acoplar uma cobertura em intervalos de coleta maiores do que 15 dias, evitando erros no processo de coleta e a danificação do sensor carecendo assim ser substituído.

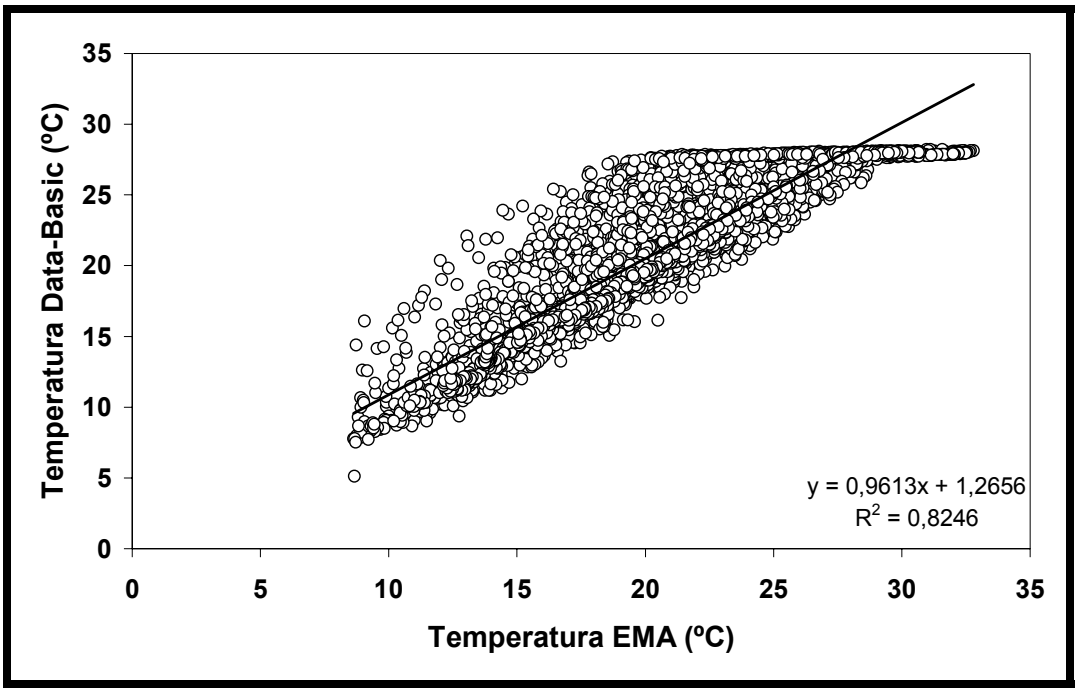
Assim, após detectar e sanar todos estes problemas coletou-se uma nova série de dados no período de 03/08 a 05/10, de modo a se realizar com confiabilidade as análises de estimativa de erro de cada sensor evitando que possíveis erros de instalação e coleta interferissem no resultado destas análises.

2.4.3.1 Estimativa de erro dos dados de temperatura

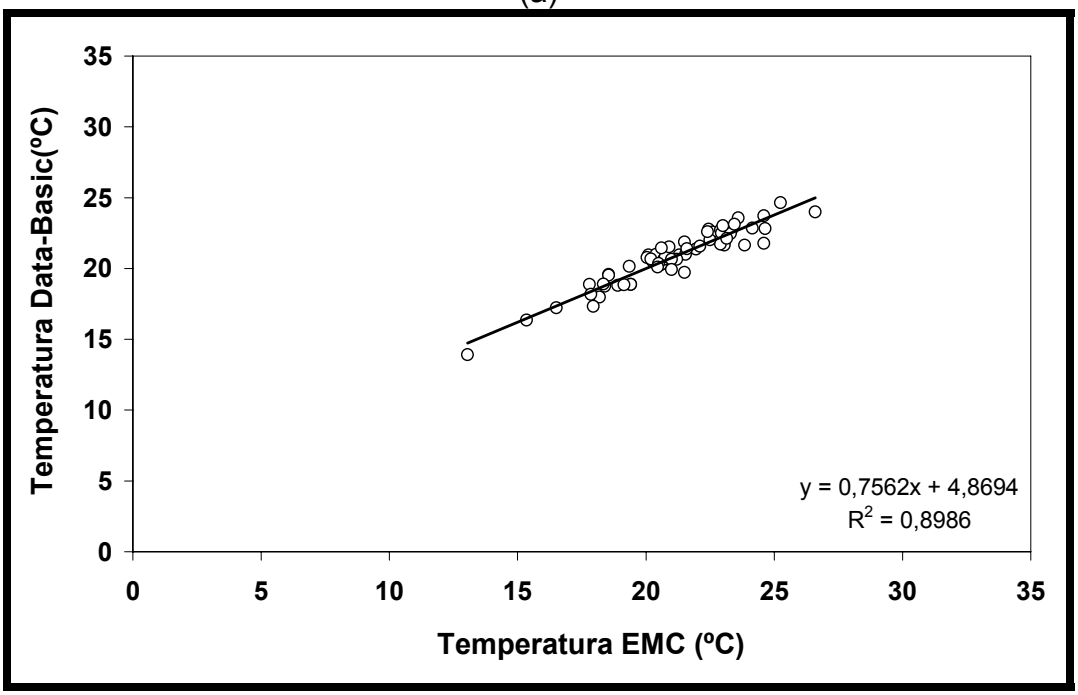
Na comparação dos dados de temperatura em que foram utilizados como padrão os dados da estação meteorológica automática (EMA), os dados coletados pelo Data-Basic demonstraram boa correlação, apresentando um erro médio de 2,23ºC e um índice de dispersão R^2 igual a 0,8246 (Figura 16A). Já as comparações que utilizaram como base a estação meteorológica convencional (EMC) obtiveram uma ótima correlação, com a média diária dos dados coletados pelo Data-Basic, apresentando um valor de erro médio igual a 0,9053ºC e um índice de dispersão R^2 igual a 0,8986 (Figura16B), demonstrando grande similaridade entre os dados coletados.

Considerando o valor médio das medidas da estação automática que foi de 20,3ºC, o erro médio encontrado correspondeu a uma superestimativa de 10,98% do valor de temperatura. Dentre os fatores que contribuíram para este erro, o principal foi a cobertura do sensor do Data-Basic, que apesar de ser “perfurada”, não deve ter favorecido tanto a circulação de ar pelo sensor fazendo com que superestimasse os valores de temperatura em alguns momentos, e subestimasse os valores em outros, onde foi possível notar uma diferença entre as medidas dos sensores, a qual encontra-se evidenciado na comparação entre as duas séries ao longo dos dias Juliano em um gráfico da temperatura em função do tempo (Figura 17A).

Entretanto, é possível perceber que apesar de ocorrerem diferenças nos extremos o comportamento de ambas as séries foram muito próximos, o que permite dizer que apesar de existir um erro associado, este pode ser considerado de baixa relevância de modo que não irá propiciar maiores diferenças nas diversas estimativas que tem seu calculo baseado na temperatura do ar.



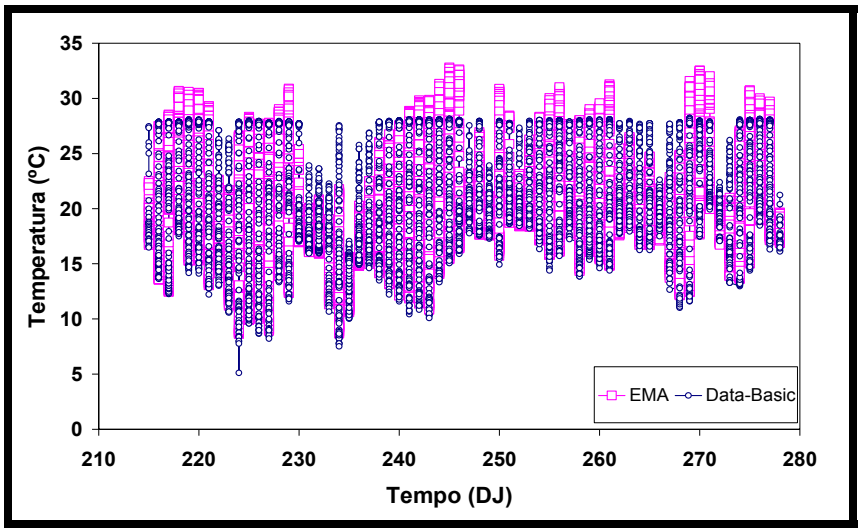
(a)



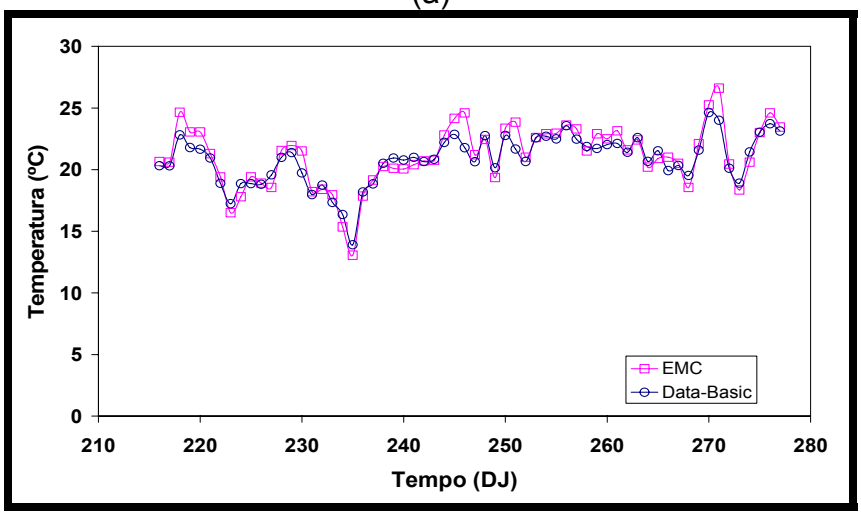
(b)

Figura 16 – Dispersão entre os dados do Data-Basic e da EMA (a) e Dispersão entre os dados do Data-Basic e da EMC (b)

Assim, pode-se afirmar que nas análises que tiveram como base os dados da EMC os erros encontrados pela equação de erro médio foram minimizados, visto que as análises foram baseadas nas médias diárias e que nos apesar de em certos momentos ocorrer uma superestimativa, em outros ocorre uma subestimativa de mesma proporção diminuindo a faixa do erro médio, tornando-os irrelevantes como pode ser confirmada pela comparação dos dados de temperatura de ambas as séries em relação ao tempo (Figura 17B).



(a)



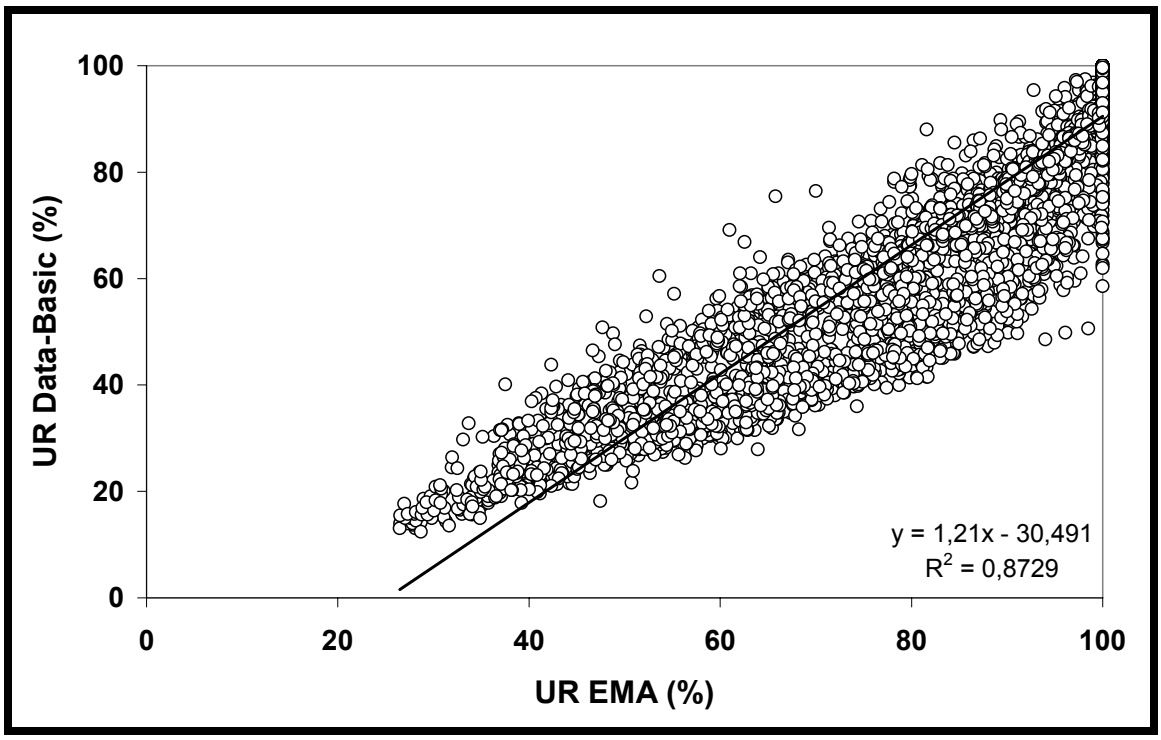
(b)

Figura 17- Temperatura das séries de temperatura coletadas pelo Data-Basic e pela EMA em função do tempo em dias juliano (DJ) (a) e Temperatura das séries de temperatura coletadas pelo Data-Basic e pela EMC em função do tempo em dias juliano (DJ) (b)

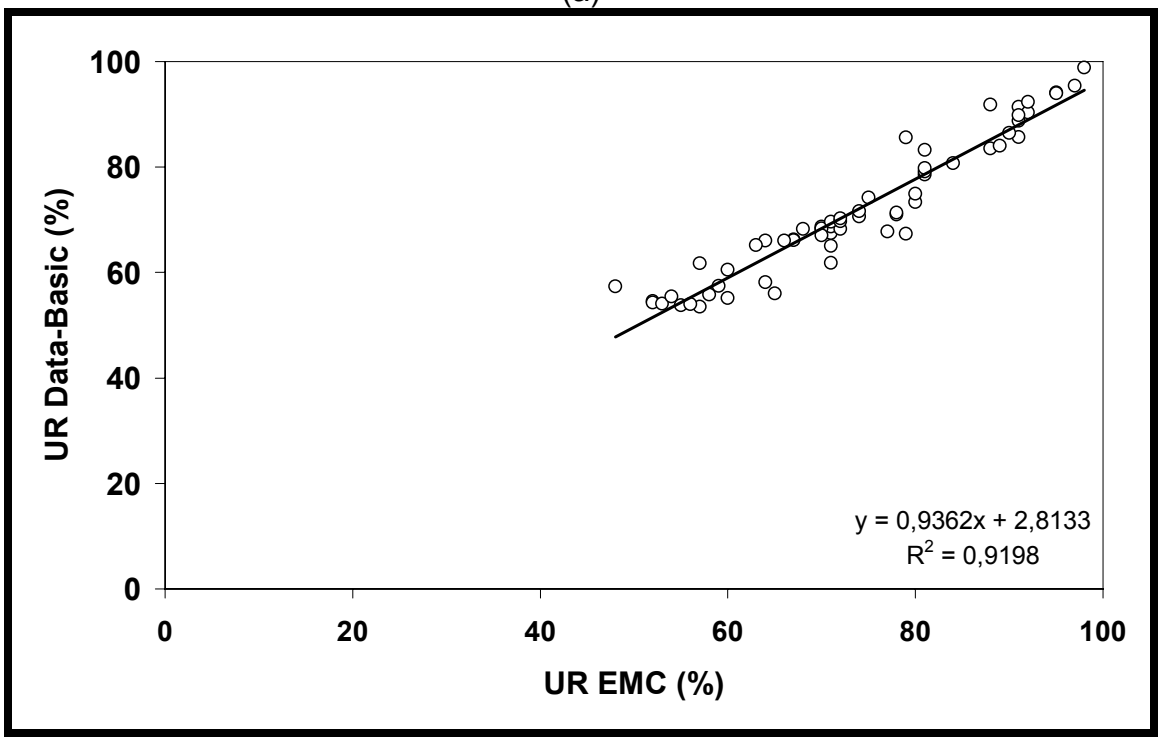
2.4.3.2 Estimativa de erro dos dados de umidade relativa do ar

Nas análises onde foi utilizada como referência a série de dados da estação meteorológica automática, obteve-se pelo cálculo de erro médio um valor de 16,08 unidades de umidade relativa do ar, ou seja, um erro de 16,08% na umidade relativa do ar. Desse modo, considerando que a sensibilidade do sensor utilizado HIH 4000 é de ± 2% do valor medido, o erro apresentado pode ser justificado, considerando-se a possibilidade do sensor da EMA estar com um erro de calibração, visto o longo período de tempo que este possui ou ainda podemos encontrar como fonte de erro a cobertura utilizada no sensor de umidade, a qual pode ter influenciado os dados coletados. No entanto, utilizando-se análise gráfica, foi encontrado um coeficiente de dispersão R^2 igual a 0,8729, demonstrando que o erro encontrado entre as séries é sistemático, de modo a reforçar a hipótese de que existe um erro de calibração no sensor de umidade relativa do ar da estação meteorológica automática (Figura 18A).

Em outra análise utilizou-se como padrão a serie de dados diários coletada pela estação meteorológica convencional (EMC), obteve-se um erro médio de 4,1 unidades de umidade relativa do ar, ou seja, 4,1% e um índice de dispersão R^2 igual a 0,9198, encontrado por análise gráfica (Figura 18B), demonstrando uma ótima correlação entre os dados do Data-Basic e os dados coletados pela estação meteorológica convencional. A diferença de 4,1% pode ser considerada pouco significativa uma vez que o sensor trabalha com uma sensibilidade de ± 2% e que é conhecida a existência de uma margem de erro entre os valores de instrumentos convencionais de medida e os instrumentos que se baseiam na leitura de sensores eletrônicos. Além disso, as comparações entre as séries de dados, utilizam as médias diárias dos valores coletados pelo Data-Basic, sendo assim, é possível que ao efetuar as médias, um erro sistemático tenha ocorrido contribuindo para aumentar o erro médio entre as séries de dados analisados. Por fim, é importante considerar que o sensor de umidade relativa do ar possui uma cobertura plástica vazada, a qual certamente deve ter influenciado nas medidas aferidas pelo sensor e proporcionando um erro sistemático, justificando a diferença encontrada entre os dados do Data-Basic e da EMC.



(a)



(b)

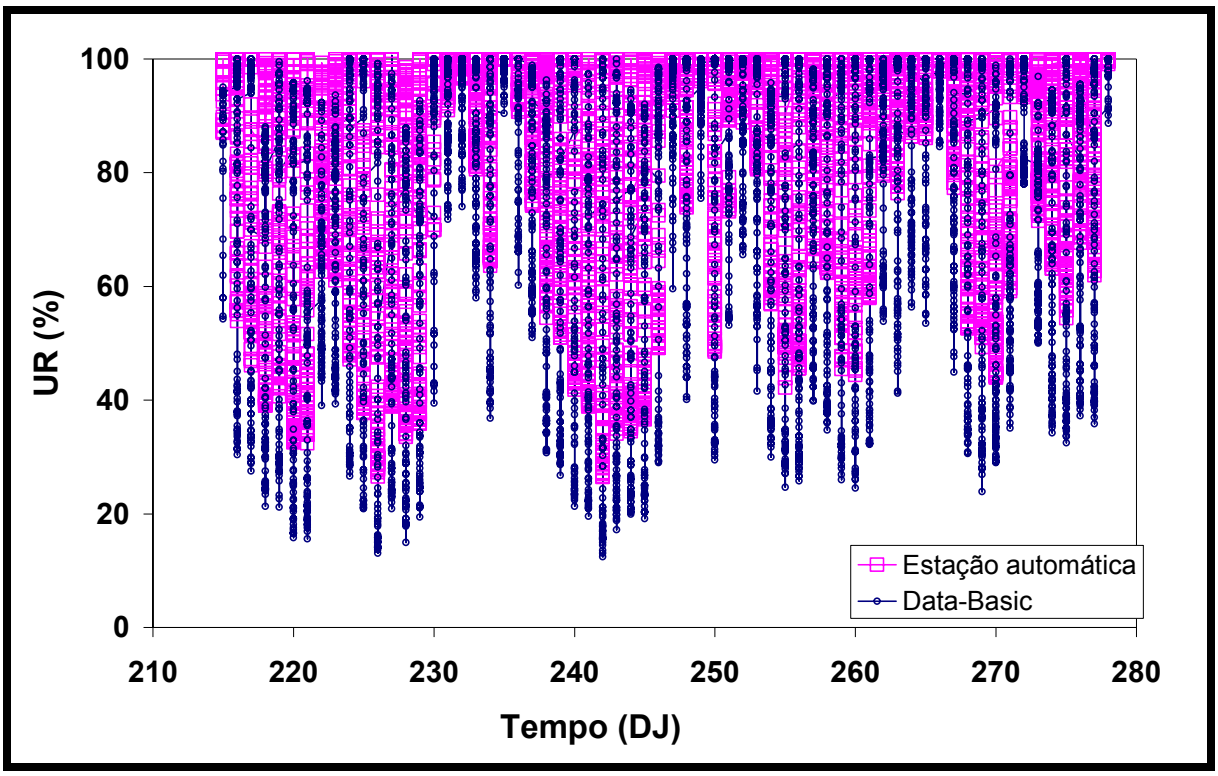
Figura 18 – Dispersão entre os dados de umidade relativa do ar coletados pelo Data-Basic pela EMA (a) e Dispersão entre os dados de umidade relativa do ar coletados pelo Data-Basic pela EMC (b)

Assim, comparando-se por uma análise gráfica as séries de dados coletados pelo Data-Basic e pela EMA ao longo do tempo medido em dia Juliano (Figura 19A), é possível perceber que as séries estão em conformidade, porém, os dados da EMA superestimam os valores de umidade relativa do ar que só não apresentam dados acima de 100%, pois são corrigidos durante o processo de coleta na estação. Em comparação gráfica (Figura 19B), as duas séries se mostraram muito próximas, apesar de em alguns momentos a série proveniente do Data-Basic, subestimar os valores de umidade relativa do ar, confirmando a idéia de que a cobertura plástica influenciou o sensor durante a coleta de dados agregando um erro sistemático.

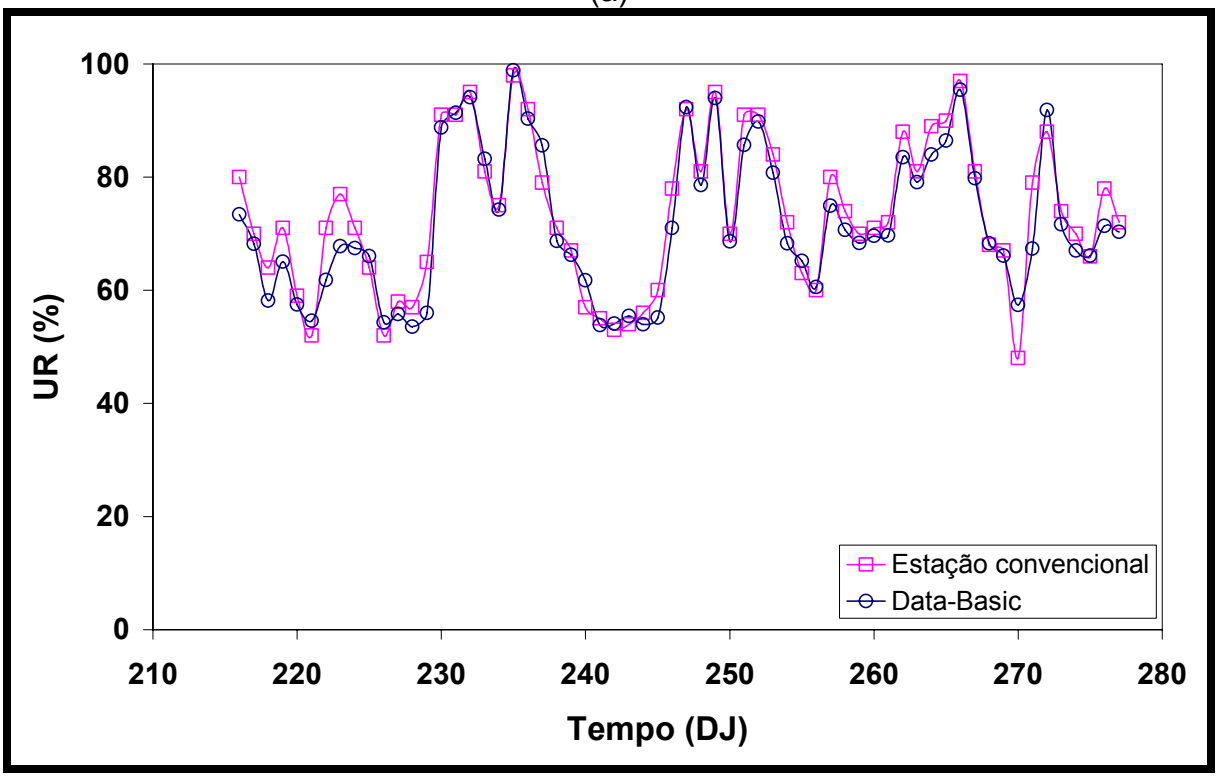
Assim, é possível afirmar que o sensor de umidade relativa do ar HIH 4000, apresentou valores confiáveis na série coletada, visto a similaridade entre as séries de dados tanto nas análises em que utilizaram como padrão as séries da estação meteorológica convencional, como naquelas que tiveram como padrão os dados da estação meteorológica automática, onde os erros encontrados podem ser considerados insignificantes, visto a diferença existente entre instrumentos de medida convencionais e os sensores eletrônicos, e a ótima dispersão encontrada em todas as análises, confirmando a confiabilidade dos dados coletados pelo Data-Basic.

2.4.3.3 Estimativa de erro dos dados de radiação solar

A radiação solar é uma variável complexa devido a diversos fatores como a inclinação, faixa do espectro medida, sensibilidade do sensor, entre outros, os quais podem agregar erros às medidas efetuadas. Os dados coletados pelo sensor LDR, encontram-se dentro do espectro visível da radiação solar, também chamada de fotossínteticamente ativa (PAR), a qual somente é medida pela estação meteorológica automática, porém na unidade de fótons fotossintéticos que é medida em micromol por metro quadrado por segundo (μmol m^{-2} s). Entretanto a unidade padrão utilizada no sistema internacional de medidas (SI) é o watt por metro quadrado (W m^{-2}), unidade encontrada nas medidas de radiação global, a qual é medida pelos instrumentos das estações automática e convencional.



(a)



(b)

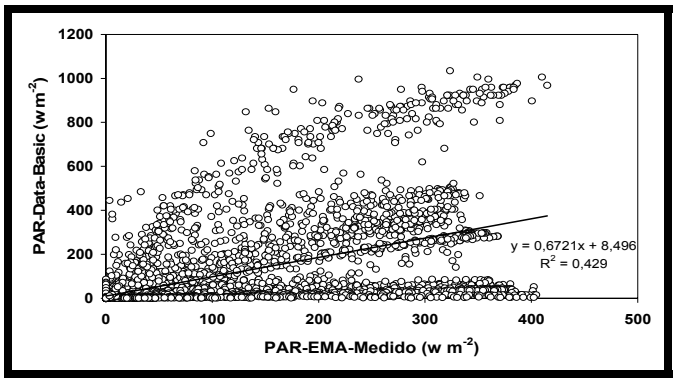
Figura 19 – Valores de umidade relativa do ar das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMA em função do tempo em dias juliano (DJ) (a) e Valores de umidade relativa do ar das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMC em função do tempo em dias juliano (DJ) (b)

Assim, para se avaliar os dados das séries coletadas pelas estações meteorológicas (automática e convencional) foi necessário aplicar um fator de correção para converter a unidade de radiação PAR, ou corrigir o valor coletado da radiação global para a faixa do espectro visível que corresponde à radiação PAR. Desse modo, foram utilizados os valores de correção citado por Steidle Neto et al (2008) em concordância com McCree (1972), o quais propõem que para as séries onde foi coletado os valores de radiação PAR na unidade de (µmol m^{-2} s) o fator de correção de 4,57 mol MJ^{-1}, ao passo que para corrigir os valores de radiação global em radiação PAR foi utilizado um fator de proporcionalidade de 0,45, pois a faixa de radiação PAR representa 45% do valor da radiação global. Além disso, os valores de radiação global da EMC encontram-se medidos em caloria por centímetro quadrado dia (cal cm^{-2} d^{-1}), onde realizando-se a transformação para J m^{-2} s^{-1}, que correspondem ao W m^{-2} , chegou-se a um fator de 0,485 W m^{-2} para cada cal cm^{-2} d^{-1}.

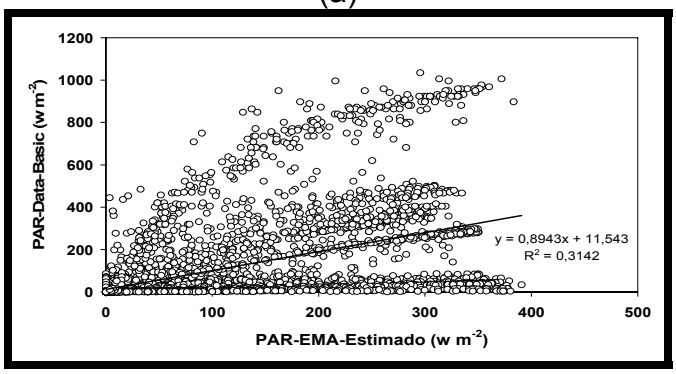
Contudo os valores coletados pelo Data-Basic utilizaram uma equação de calibração sugerida por Antonieti e Oliveira (2005), visto que o circuito montado com o LDR é o mesmo presente no Data-Basic, o que proporcionou a utilização da equação de calibração utilizada por eles, a qual apresentou ainda segundo estes uma correlação de 0,9184 para o R^2 , demonstrando a confiabilidade da calibração realizada pelos autores. Entretanto, os dados encontrados encontram-se na unidade Lux, onde se fez necessário aplicar um fator de correção de 93 Lux W^{-1} m^{-2}, sugerido por Villa Nova et al. (2001). Além disso, nas análises que utilizaram como padrão os dados da estação meteorológica convencional foram aplicados dois fatores de correção, primeiramente pra se converter a unidade de cal cm^{-2} d^{-1} para W m^{-2}, em seguida foi aplicado um fator de correção de 0,45 para a estimativa da faixa de radiação PAR coletada pelo LDR.

Desse modo, para as análises que utilizaram como padrão os dados da EMA, onde foram coletados valores de radiação PAR coletados em µmol m^{-2} s (PAR - EMA-Medido), os quais foram posteriormente convertidos em W m^{-2}, foi encontrado um erro médio de 140,81 W m^{-2}, e um índice de dispersão de 0,429 (Figura 20A). Já as comparações que tiveram como padrão os dados de radiação global corrigidos para a faixa de atuação da radiação PAR (PAR – EMA-Estimado), apresentou um erro médio de 142,70 W m^{-2} e um índice de dispersão de 0,3142 (Figura 20B). Enquanto que a

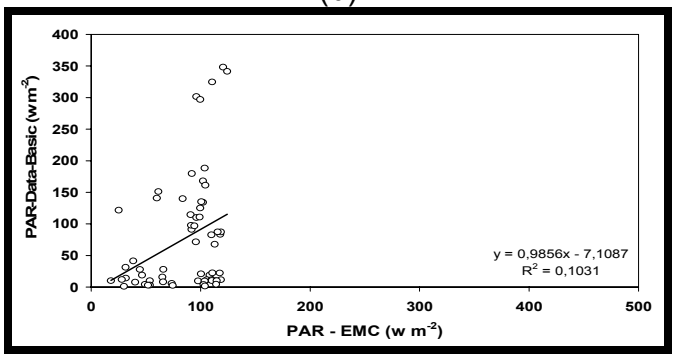
comparação entre a série de valores diários da estação meteorológica convencional (EMC) coletados em cal/cm^{2}d e convertidos em W m^{-2} e a média diária dos valores coletados pelo Data-Basic, onde foi considerado os períodos diurno e noturno, encontrou-se um erro médio de 86,65 W m^{-2} e um índice de dispersão de 0,1031 (Figura 20C).



(a)



(b)

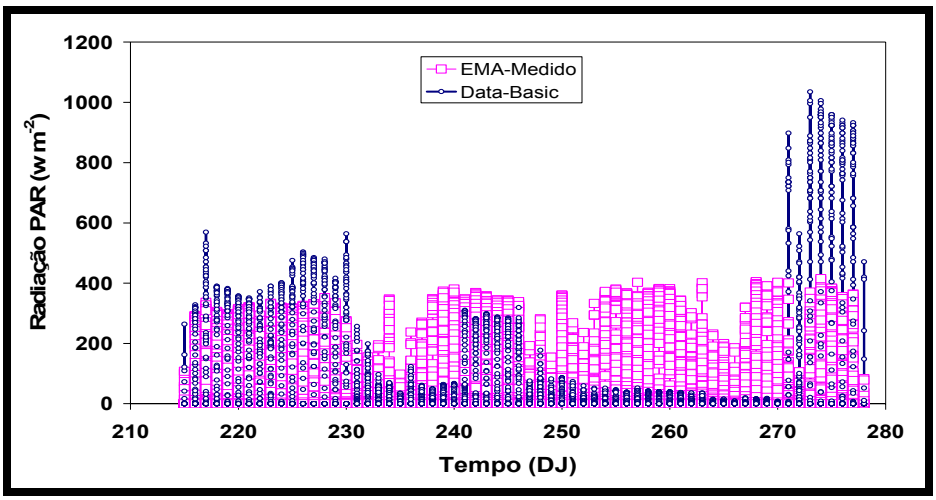


(c)

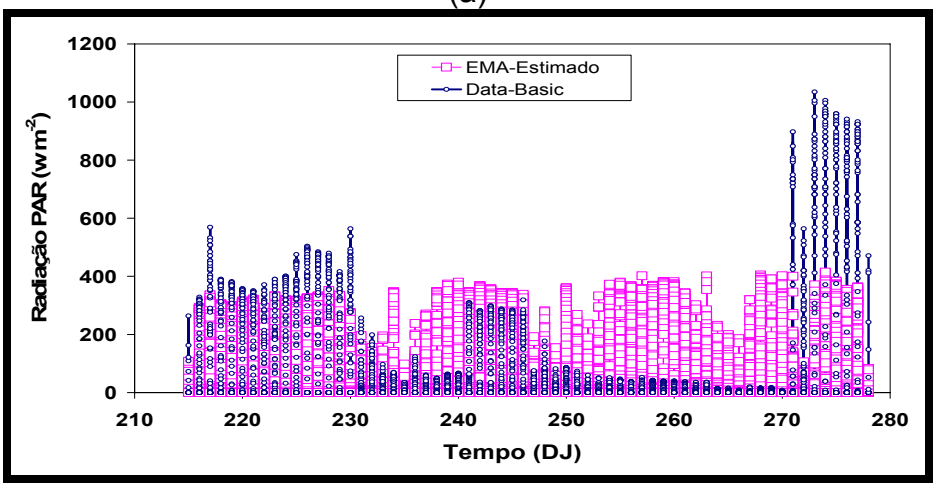
Figura 20 – Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados PAR -EMA-Medido (a), Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados de PAR - EMA-Estimado (b) e Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados de PAR – EMC (c)

Estes erros de valor relevante aconteceram devido a um problema no sensor LDR, o qual fora substituído por outro que apresentou um funcionamento inadequado, onde subestimou os dados de radiação solar ocasionando esta grande margem de erro, evidenciada pela comparação tanto entre as séries coletadas pelo Data-Basic com a PAR – EMA-Medido (Figura 21A), como pela comparação entre as séries do Data Basic e de PAR – EMA-Estimado (Figura 21B). Além disso, a comparação entre as séries do Data-Basic e da EMC ao longo do tempo em dias Juliano (Figura 21C), demonstrou que em certos momentos o sensor subestima os valores medidos pela EMC, porém em outros momentos este superestima os dados, o que minimiza de certa forma o erro médio porém apresenta este alto índice de dispersão dos dados.

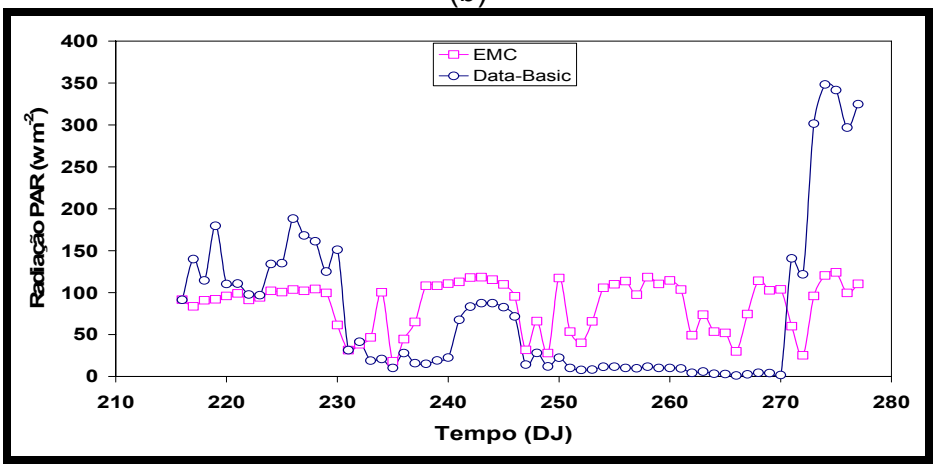
Assim, considerando as análises gráficas das Figuras 21A e 21B, foi possível perceber que do dia 215 até cerca do dia 232 existiu uma boa correlação entre as séries de dados coletados, onde utilizando-se como padrão a série PAR-Medido se obteve um erro médio de 86,9 W m^{-2}, porém o incide de dispersão dos dados R^2 foi muito bom cerca de 0,8412 (Figura 22A), o qual demonstrou uma boa relação entre os dados coletados demonstrando a viabilidade do uso da equação de calibração sugerida por Antonieti e Oliveira (2005), para aquele sensor. Isso se confirma nas análises em que se utilizou como padrão os valores da série PAR-Estimado, onde foi encontrado um erro médio de 91,38 W m^{-2}, porém com um índice de dispersão R^2 igual a 0,8461 (Figura 22B), reafirmando a idéia de que houve problema no sensor a partir do dia 232 e que a substituição do mesmo não sanou o problema, pois certamente a equação proposta não se adéqua a quaisquer LDR, seja por causa de uma diferença de sensibilidade do sensor ou uma possível interferência do tamanho da área exposta à luz. Por fim, isso se confirma nas comparações em relação a EMC, onde foi encontrado um erro médio de 47,2 W m^{-2} e um índice de dispersão de 0,4757 (Figura 22C), que embora não possa ser considerado bom é muito melhor do que o obtido anteriormente cerca de 0,01.



(a)

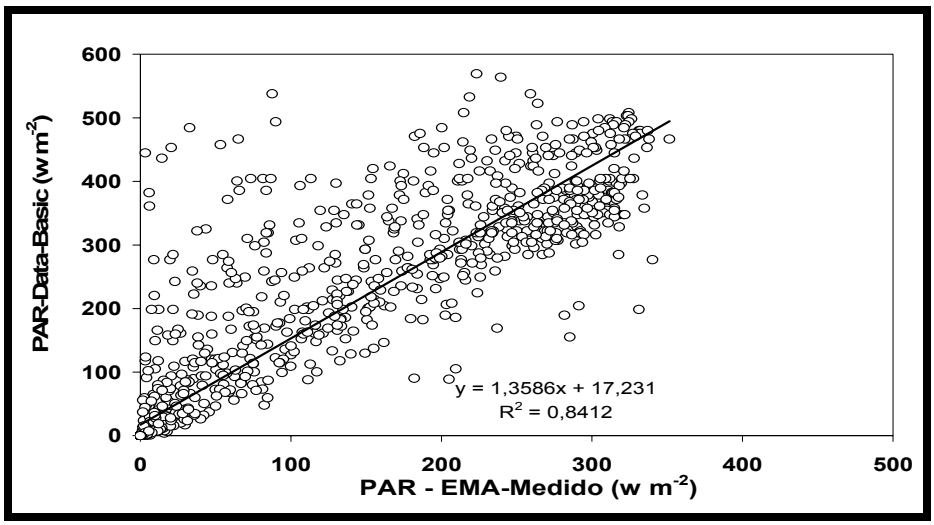


(b)

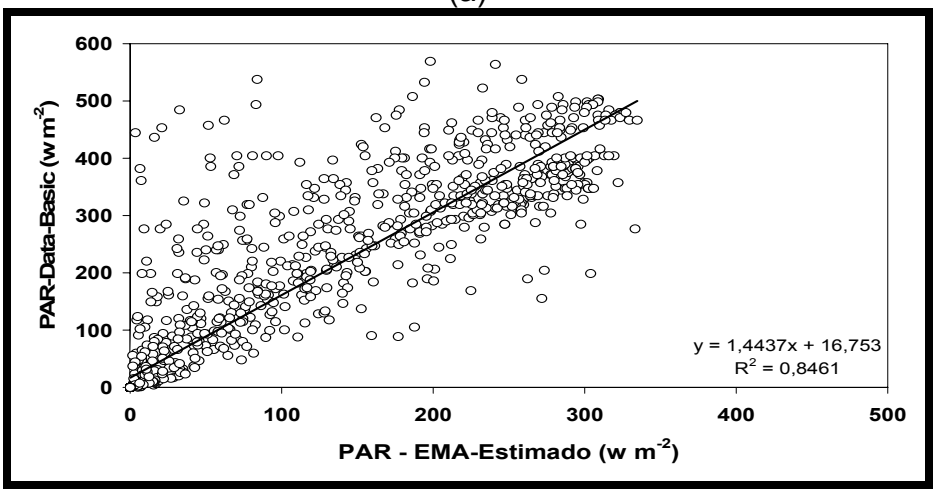


(c)

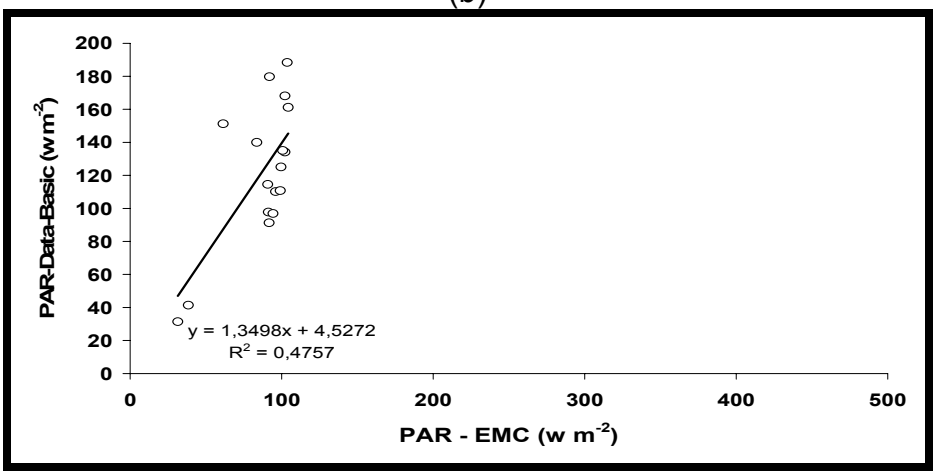
Figura 21 - Valores de Radiação PAR das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMA-Medido em função do tempo em dias juliano (DJ) (a); Valores de Radiação PAR das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMA-Estimada (b) e Valores da radiação PAR das séries coletadas pelo Data-Basic e pela EMC em função do tempo em dias juliano (DJ) (c)



(a)



(b)



(c)

Figura 22 - Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados da EMA-Medido (a), Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados da EMA-Estimado (b) e Dispersão entre as séries de dados coletados pelo Data-Basic e os dados da EMC(c), entre os dias Juliano 215 a 232

Por fim, é possível afirmar que os dados coletados pelo LDR acoplado ao Data-Basic, tem um erro associado que demanda a necessidade uma pré-calibração para cada sensor antes de sua utilização, de modo a possibilitar uma maior precisão nas leituras do espectro visível da radiação solar. Além disso, deve ser considerada a precisão de fabricação dos sensores utilizados, pois um radiômetro tem um custo elevado ao passo que um LDR tem um preço irrisório se comparado com o mesmo, muito embora o LDR tenha demonstrado nas análises a necessidade de uma cápsula de proteção para ambientes abertos evitando uma oxidação e possíveis danos no sensor. No mais, pode-se afirmar também que para ambientes cobertos o LDR é adequado e se previamente calibrado pode oferecer dados razoáveis de luminosidade, principalmente para indicar a presença de dias ensolarados ou nublados.

2.5.3 Custo e facilidades do equipamento

O Data-Basic foi projetado com o intuito de se elaborar um "*data logger*" com baixo custo, visando a difusão da tecnologia da agricultura de precisão aos pequenos produtores, onde muitas vezes o custo do equipamento é maior do que a perda monetária com o déficit na produção, seja esta agrícola ou pecuária. Além disso, os "*data loggers*" hoje presentes no mercado e considerados de pequeno porte tem um custo elevado e sua assistência técnica, muitas vezes não existe no país, tornando-os descartáveis e inviabilizando o uso ao produtor.

Assim, o Data-Basic surge como uma nova opção, o qual se mostrou eficiente em seu processo de coleta de dados, necessitando apenas de ser acoplado a uma bateria para períodos longos de coleta (maiores que 5 dias) ou a utilização de uma rede elétrica confiável onde não ocorram quedas de energia constantemente. O seu preço é cerca de 50% do preço dos "*data loggers*" portáteis incluindo três sensores: temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar. Visto que só o sensor de umidade relativa do ar corresponde a cerca de 34% do valor do "*data logger*", sendo o preço dos sensores de temperatura e radiação solar quase irrisórios ao preço equipamento. Além disso, o equipamento desenvolvido é um protótipo que certamente irá servir a uma linha de "*data loggers*", onde será possível adaptar este a cada uma das diferentes situações

de uso tanto para a agricultura como para a pecuária, sendo possível acoplar a central ("*data logger*"), qualquer tipo de sensor que emita um sinal de tensão contínua no momento da coleta de dados.

Contudo, o equipamento em questão pode ser facilmente reparado caso apresente algum tipo de problema devido a falhas de instalação ou uso inadequado, pois como este é constituído por componentes embarcados como o microcontrolador (BS1) e o módulo de gravação PenBS, basta que estes sejam substituídos por um novo com a correta configuração, de modo que este não seja descartável caso apresente problemas. Além disso, caso algum sensor venha a ser danificado também é possível substituí-lo facilmente a um custo bem menor do que se o usuário necessitasse comprar um novo "*data logger*".

3 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pôde se concluir que:

a) O desenvolvimento do sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de elementos climáticos do ambiente agrícola, denominado Data-Basic foi elaborado com sucesso, apresentando resultados satisfatórios para a coleta e o armazenamento de dados climáticos;
b) O custo do equipamento desenvolvido ficou em torno de 50% do valor de "*data loggers*" portáteis, tendo ainda a possibilidade de fácil manutenção do equipamento com um baixo custo;
c) Em se tratando se longos períodos de coleta, o Data-Basic demonstrou a necessidade de se acoplar uma bateria para evitar que interrupções no fornecimento de energia prejudiquem a coleta de dados;
d) Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar, Lm35 e HIH 4000 respectivamente, apresentaram dados cujos erros podem ser considerados irrelevantes, o que torna estes dados confiáveis para análises de processos físicos existentes no ambiente agrícola;
e) O sensor de radiação solar LDR demonstrou a necessidade de uma pré-calibração antes de sua instalação e de uma cápsula de proteção, muito embora tenha apresentado em alguns momentos dados razoáveis de medida de radiação PAR;
f) O protótipo desenvolvido neste trabalho poderá servir de base para uma linha de instrumentos com diferentes modelos, onde considerando a necessidade de cada situação poderão ser utilizados diferentes sensores e feitas adaptações de modo a proporcionar uma perfeita coleta dos dados climático do ambiente agrícola; e
g) Contudo, o modelo montado para a coleta de dados mostrou-se muito eficiente para um ambiente coberto, sendo necessárias adaptações para melhorar a eficiência dos erros coletados e evitar a danificação dos sensores em um ambiente aberto.

REFERÊNCIAS

ALVES, K.J.P.; FERNANDES, J.M.C. Influência da temperatura e da umidade relativa do ar na esporulação de *Magnaporthe grisea* em trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Passo Fundo, v. 31, n. 6, p. 579-583, dez. 2006.

ANGNES, D.L. **Introdução ao microcontrolador BASIC Step**. Tato Equipamentos Eletrônicos. 2003. Disponível em: <http:www.tato.ind.br/files/Microcontroladores%20BASIC%20Step1.pdf>. Disponível em: 19 mar. 2009.

ANTONIETI, B.V.; OLIVEIRA A.G. **Desenvolvimento e construção de um luxímetro**. 2005. 34 p. Trabalho Acadêmico (Graduação em Engenharia da Computação) – Fundação Educacional de Ituiutaba, Universidade do Estado de Minas Gerais, Ituiutaba, 2005.

ANTONINI, J.C.A.; SILVA, E.M.; OLIVEIRA, L.F.C.; SANO, E.E. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 331-338, abr. 2009.

AZEVEDO, M.; PIRES, M.F.A.; SATURNINO, H.M.; LANA, A.M.Q.; SAMPAIO, I.B.M.; MONTEIRO, J.B.N.; MORATO, L.E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 holandês-zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, jun. 2005.

BACKMANN, M.Z.; DUARTE, G.R.B, DE PAULA, V.A.; MENDES, M.E.G.; PEIL, R.M.N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 86-92, jan. 2006.

BAILLE, M.; BAILLE, A.; DELMON, D. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, n. 1, p. 83-97, Oct. 1994.

BLAIR, T.A.; FITE, R.C. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: Ed. Artes Gráficas Gomes de Souza, 1964.

BORGES, P.F. **Crescimento, desenvolvimento e balanço da radiação do algodoeiro herbáceo BRS-201 em condições irrigadas**. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

BRITO, A.A.S.; SOUZA, A.H. Sistema de aquisição de dados climatológicos automatizado por microcomputador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, 5., 1987, Belém. **Anais...** Belém: CBA, 1987. p. 1- 4.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F. Programa em ambiente “Microcal Origin” para tratamento de dados meteorológicos e determinação da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 153-158, maio 2001.

CUNHA, A.R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 103-111, jun. 2004.

DALLY, J.W.; WILLIAM, F.R.; McCONNELL, K.G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1993. 584 p.

DIAS, T.C.S.; ALVES, P.L.C.A; LEMES, L.N. Períodos de interferência de *Commelina benghalensis* na cultura do café recém-plantada. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 397-404, set. 2005.

ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N.; DE OLIVEIRA, A.P.; SOARES, J. Variações mensais das frações solares UV, PAR e IV da radiação global em Botucatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2.; CONFERÊNCIA REGIONAL LATINO-AMERICANA DA ISES, 3., 2008, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Ed. UFSC, 2008. p. 1- 12.

FERNANDES, A.L.T.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, A.R. Avaliação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo (*Chissantemum ssp.)* cultivado em estufa plástica. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 139-149, abr./jun. 2006.

FERREIRA, M.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; SANTOS, A.O.; HERNANDES, J.L. Modificação parcial do ambiente de cultivo da videira ‘cabernet sauvignon’ sobre diferentes porta-enxertos: efeito sobre a produção e o teor de sólidos solúveis. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 439-445, jun. 2004.

FERREIRA, M.I.F.R.; SILVESTRE, J.C. Medição da transpiração em cobertos descontínuos: vinha em diferentes declives, na região do oeste. In: VII CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004, Lisboa. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2004. p. 1-11.

GOMES, C.A.V. **Efeito do ambiente térmico e de níveis de suplementação nos parâmetros fisiológicos de caprinos moxotó**. 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

HAYHOE, H.N., BALCHIN, D. Automatic retrieval of data agrometeorological using a microcomputer and radiotelemetry. **Journal of Computers and eletronics and Agriculture**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 129-134, 1987.

KINGSTON TECHNOLOGY COMPANY. **Guia de memória flash - memória flash portátil para computadores, câmeras digitais, telefones celulares e outros dispositivos**: unidade flash USB 2006. Disponível em: <http://www.kingston.com/Brasil/flash/pdf_files/FMGuide_P.pdf>. Acesso em: 08 out. 2009.

KUNZ, J.H. **Distribuição da radiação solar na cultura do milho em função do manejo do solo, arranjo de plantas e condição hídrica**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LATIMER, J.R. **Radiation measurement**. Toronto: National Research Council of Canada, International Field Year for the Great Lakes, 1971. 53 p. (Techical Manual Series, 2).

LEITÃO, M.M.V.B.R.; OLIVEIRA, G.M. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 214-218, mar. 2000.

LEITÃO, M.M.V.B.R.; MOURA, M.S.B.; SALDANHA, T.R.F.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; OLIVEIRA, G.M. Balanço de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano. **Revista de Ciência & Tecnologia**, São Paulo, v. 15, p. 57-64, jun. 2000

LOPES, S.J.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; JASNIEWICZ; L.R. Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 392-400, July/Aug. 2004.

LOWINSOHN, D.; BERTOTTI, M. Sensores eletroquímicos: considerações sobre mecanismos de funcionamento e aplicações no monitoramento de espécies químicas em ambientes microscópicos. **Química Nova***,* São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1318-1325, nov./dez. 2006.

MAGNABOSCO, D.; CARVALHO, D.; BERNARDO, J.I. Controle computadorizado de temperatura, umidade e fotoperíodo em estufas para cultivo de tomate no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA A AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 4., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: SBIAGRO, 2003. p. 1-3.

MANNO, M.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S.; OLIVEIRA, W.P.; LIMA, K.R.S.; VAZ, R.G.M.V. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1963-1970, nov./dez. 2005.

MARIN, F.R.; PANDORFI, H.; SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, M.B.P.; HERNANDEZ, F.B.T. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 157-162, fev. 2006.

MATIC, N.; ANDRIC, D. **The PIC microcontroller**. 2000. Disponível em: <http://www.i-magazine.com.br/imagazine/picbook/livropic.htm. Acesso em: 04 jun. 2009.

MATZENAUER, R. Utilização da radiação solar global para a estimativa das deficiências hídricas da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 207-213, nov. 2000

McCREE, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 10, p. 443-453, 1972.

MENDES, R.S. **Determinação da evapotranspiração por métodos direto e indiretos e dos coeficientes de cultura da soja para o Distrito Federal**. 2006. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MENDONÇA, E.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência no Município de Capim - PB**. 2008. 114 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MESSIAS, A.R. **Conectando um pen-drive a um microcontrolador - Projeto Estação Pen-drive**. ROGERCOM. 2007. Disponível em: <http://www.rogercom.com/Microcontrolador/Pag01.htm>. Acesso em: 24 jun. 2009.

MOREIRA, M.A. **Sistemas sensores**: São José dos Campos: INPE, 2001. 183 p.

NOZAKI, M.H.; CAMARGO, M.; BARRETO, M. Caracterização de *Diaporthe citri* em meios de cultura e diferentes condições de temperatura e luminosidade. **Fitopatologia Brasileira,** Passo Fundo, v. 29, n. 4, p. 429-432, jul./ago. 2004.

OLIVEIRA, G.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; VAZ, R.G.M.V.; ORLANDO, U.A.D. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1398-1405, jul./ago. 2006.

PAÇO, T.A.; FERREIRA, M.I.F.R. Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos - necessidades de rega em pomar de pessegueiro. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004, Lisboa. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2004. p. 1-13.

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

PEREIRA, G.; MORAES, E.C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L.G.L.O. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 1, p. 55-61, abr. 2007.

PEZZOPANE, J.E.M.; PEDRO JR., M.J.; ORTOLANI, A.A. Uso de estufa com cobertura plástica e de quebra-ventos na produção de porta-enxertos de seringueira. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 422-426, set./dez. 1996.

PIRES, D.P.L.; AFONSO, J.C.; CHAVES, F.A.B. A termometria nos séculos XIX e XX. **Revista Brasileira de Ensino de FÍsica,** São Paulo, v. 28, n. 1, p. 101-114, mar. 2006.

REBELLO JUNIOR, C.J. **Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos baseado no microcontrolador "BASIC Step".** 2004. 53 p. Trabalho Acadêmico (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

REINATO, C.H.R.; BORÉM, F.M. Variação da temperatura e do teor de água do café em secador rotativo usando lenha e GLP como combustíveis. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 561-569, maio/ago. 2006.

REIS, L.S.; SOUZA, J.L.; AZEVEDO, C.A.V. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 289–296, maio/jun. 2009.

RIBEIRO, A.R.B.; ALENCAR, M.M.; NEGRÃO, J.A.; COSTA,J.R.P.; STARLING, J.M.C. Avaliação das respostas fisiológicas de bezerros zebuínos puros e cruzados nascidos em clima subtropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 1146-1153, maio/jun. 2006

RIGHI, C.A.; BERNARDES, M.S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras: produtividade do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 533-540, 2008.

RIGHI, E.Z. **Consumo hídrico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado em estufa plástica e sua relação com variáveis meteorológicas em Santa Maria, RS**. 2000. 83 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; MANTOVANI, B.H.M.; SILVA, J.N. Efeito das condições de colheita, pré processamento e armazenamento na qualidade do milho – pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 591-597, mar. 2000.

SCARANARI, C.; LEAL, P.A.M.; PELLEGRINO, G.Q. Estudo de simulações de microclimas em casas de vegetação visando à aclimatação de mudas micropolegadas de bananeira cv grande naine. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, v. 4, p. 1001-1008, dez. 2008.

SENTELHAS, P.C; MORAES, S.O; PIEDADE, S.M.S.; PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, dez. 1997.

SILVA, E.L.; MARTINEZ, L.F.; YITAYEW, M. Relação entre coeficientes de cultura e graus-dia de desenvolvimento da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p. 134-142, 1999.

SILVA, K.O. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade relativa e temperatura do ar**. 2000. 70 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVA, K.O.; MORAES, S.O. Desenvolvimento de um sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de temperatura do ar**. Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 189-195, 2002

SILVA, M.A.A.; ESCOBEDO, J.F.; GALVANI, E.G., ASSUNÇÃO, H.F. Avaliação dos elementos energéticos em ambiente protegido cultivado com a cultura do pimentão (*Capsicum annuum L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. p. 2347-2352.

SILVEIRA, L.R.; BRITO, A.S.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Sistema automático de aquisição de dados para equipamento de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar. In**:** CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, 32., Fortaleza**. Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009. p. 1-5.

SOUZA, I.A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H.F. Avaliação de elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais**... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. p. 2342-2346.

STEIDLE NETO, A.J.S.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W.; CARRIJO, O.A. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa – de – vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 626–631, nov./dez. 2008.

SUTTON, O.G. **Micrometeorology:** a study of physical processes in the lowest layers of the earth's atmosphere. New York: Robert E. Krieger Publ., 1977. 333 p.

TEIXEIRA, A.H.C.; LOPES, P.M.O.; SILVA, B.B. da; AZEVEDO, P.V. de; SILVA, V.P.R.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; SOARES, J.M. Balanço de radiação na cultura da mangueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 92-94.

TINÔCO, I.F.F.; FIGUEIREDO, J.L.A.; SANTOS, R.C.; DE PAULO, M.O.; VIGODERIS, R.B.; PUGLIESI N.L. Avaliação de materiais alternativos utilizados na confecção de placas porosas para sistemas de resfriamento adiabático evaporativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 147-150, 2002

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva:** fundamentos e aplicações brasileiras. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1992. 375 p.

TURCO, J.E.P.; PERECIN, D.; PINTO JR., D.L. Influência na Acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 63-80, jan./mar. 2008.

VALANDRO, J. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com a radiação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EPAGRI, 1999. 1 CD-ROM.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**: versão digital. Recife: INMET, 2005. Disponível em: < http://www.ebah.com.br/meteorologia-e-climatologia-pdf-a18622.html >. Acesso em: 09 out. 2009.

VELLOSO, N.M. **Alojamento de cachaços em instalações climatizadas: análise de desempenho reprodutivo e do uso de energia elétrica**. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

VILELA, E.D.D. Programação Delphi para eletrônica - mini-curso parte III. **Revista Saber Eletrônica,** São Paulo, ano 35, n. 320, p. 4-11, set. 1999

VILLA NOVA, N.A.; SANTIAGO, A.V.; REZENDE, F.C. **Energia solar:** aspectos físicos e de captura pela biomassa. Piracicaba: ESALQ, 2001. 20 p.

WILLIAMS, M. Samsung lança drive de memória flash de 64GB no próximo trimestre. **IDGNOW – tecnologia em primeiro lugar**, **IDG News Service.** 2007. Disponível em: <http://idgnow.uol.com.br/computacao_pessoal/2007/03/27/idgnoticia.2007-03-27.3757106511/>. Acesso em: 19 mar. 2009.

ZAMBALDE, A.L. **Sistema computadorizado para aquisição e análise de dados agrometeorológicos.** 1991. 144 p. Dissertação-(Mestrado em Ciências da Engenharia: Eletrônica) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 1991.

ANEXOS

ANEXO A – Rotina de programação do Basic Step 1

```
        symbol ArqDados = "Data.txt"
        symbol CReturn = $0D
        symbol LineFeed = $0A
        symbol space = $20
        symbol ipa = $90
        symbol opr = $0E
        symbol rdf = $0B
        symbol clf = $0A
        symbol opw = $09
        symbol wrf = $08
for b0 = 1 to 40
  gosub pausa
next
        serout 1,T2400,("scs", CReturn)
        serout 1,T2400,(ipa, CReturn)
        serout 1,T2400,(opr, space, ArqDados, CReturn)
        gosub pausa
serout 1,T2400,(rdf, space, 7, CReturn)
serin 2,T2400,#b8
serin 2,T2400,#b9
gosub pausa
        serout 1,T2400,(clf, space, ArqDados, CReturn)
        gosub pausa
let b0 = b9 * 2
let W5 = b8 * 120 - 3 - b0

Main:
for W0 = 1 to W5
   while pin0=0
   wend
```

```
  while pin0=1
  wend
  next
  gosub tick
  goto Main
tick:
 let W1 = W1 + 1
 serout 1,T2400,(opw, space, ArqDados, CReturn)
 gosub pausa
        W0 = 0
        gosub escreve
        let W0 = W1
        gosub escreve
 let b4 = 0
 while b4 < b9
   let W0 = b4 + 1 * 10
   gosub escreve
   let b0 = b4
   WRITE 0, b0
   gosub escreve
   let b4 = b4 + 1
 wend
    serout 1,T2400,(clf, space, ArqDados, CReturn)
 return
 let b5 = 3 'minimo 1 byte + enter + alimentacao de linha
 let W3 = W0
 while W3 > 9
   let W3 = W3 / 10
   let b5 = b5 + 1
   wend
serout 1,T2400,(wrf, space, b5, CReturn, #W0, CReturn, LineFeed, CReturn)
```

```
  gosub pausa
  return
pausa: ' pausa de 500 ms
   while pin0=0
   wend
   while pin0=1
   wend
return
```

ANEXO B – Rotina de programação do Data-Basic Software

```
Private Sub mncoleta_Click()
Open "C:\aaa\Data.txt" For Input As #1
i = 1
Do Until EOF(1)
    Line Input #1, dadosensorarquivo
    conta = conta + 1
Loop
Close #1
Open "C:\aaa\Data.txt" For Input As #1
lbnúmerodeleituras.Caption = conta
ReDim Sensor1
i = 1
Do Until EOF(1)
    Line Input #1, dadosensorarquivo
    leitura = dadosensorarquivo
    If i = 1 Then
        leitura = Left(dadosensorarquivo, 3)
        leituranúmero = leitura
        cxintervalodetempo.Text = leituranúmero
        leitura = Right(dadosensorarquivo, 3)
        leituranúmero = leitura
        lbnúmerodesensores.Caption = leituranúmero
    Else
        leituranúmero = leitura
        If leituranúmero = 0 Then
          contazero = contazero + 1
        End If
        Sensor1(i) = leituranúmero
    End If
```

```
    i = i + 1
Loop
lbintervalos.Caption = contazero
Grid1.Rows = contazero + 1
ReDim S1(contazero), S2(contazero), S3(contazero)
índice = 0
For i = 2 To conta
    If Sensor1(i) = 0 Then
      índice = índice + 1
      S1(índice) = Sensor1(i + 3)
      S2(índice) = Sensor1(i + 5)
      S3(índice) = Sensor1(i + 7)
    End If
Next i
For i = 1 To contazero
   S1(i) = S1(i) * 0.0048875855327
   S2(i) = S2(i) * 0.0048875855327
   S3(i) = S3(i) * 0.0048875855327
Next i
For i = 1 To contazero
  S1(i) = (100 * S1(i)) / 11
  S2(i) = ((151716 * Exp(-1.9407 * S2(i))) / 93)
  S3(i) = (S3(i) - 0.958) / 0.0307
Next i
Close #1
Call carregagrid
End Sub

Function carregagrid()
Grid1.FixedAlignment(0) = 2
For i = 1 To contazero
```

```
    Grid1.Col = 0
    Grid1.Row = i
    Grid1.Text = i
Next i
MyTime = Val(cxhora.Text) & ":" & Val(cxminuto.Text) & ":00"
MyTime2 = "00" & ":" & Val(cxintervalodetempo.Text) & ":00"
MyStr = Format(MyTime, "h:mm:s")
MyStr2 = Format(MyTime2, "h:mm:s")
ReDim guardatempo(contazero)
For i = 1 To contazero
    Grid1.Col = 1
    Grid1.Row = i
    Grid1.ColAlignment(1) = 2
     If i = 1 Then
         guardatempo(i) = MyTime
         Grid1.Text = Format(MyTime, "h:mm")
     Else
          MyTime = MyTime + TimeValue(MyStr2)
          guardatempo(i) = MyTime
          Grid1.Text = Format(MyTime, "h:mm")
    End If
Next i
For i = 1 To contazero
    Grid1.Col = 2
    Grid1.Row = i
    Grid1.ColAlignment(2) = 2
    Grid1.Text = Format(S1(i), "#0.00")
Next i
For i = 1 To contazero
    Grid1.Col = 3
    Grid1.Row = i
```

```
    Grid1.ColAlignment(3) = 2
    Grid1.Text = Format(S2(i), "#0.00")
Next i
For i = 1 To contazero
    Grid1.Col = 4
    Grid1.Row = i
    Grid1.ColAlignment(4) = 2
    Grid1.Text = Format(S3(i), "#0.00")
Next i
End Function
Private Sub mnsalvar_Click()
Open "C:\aaa\Data.txt" For Output As #1
On Error Resume Next
Print #1, Tab(1); "Universidade de São Paulo";
Print #1, Tab(1); "Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' - ESALQ/USP";
Print #1, Tab(1); "Departamento de Engenharia Rural";
Print #1, Tab(1); "Coleta de dados climáticos por sensores eletrônicos";
Print #1, Tab(1); "Mestrando: Anderson Marcelli Palmieri <palmaran@yahoo.com.br>";
Print #1, Tab(1); "Orientador: Prof. Dr. Jarbas Honorio de Miranda";
Print #1, Tab(1); Date;
Print #1, Tab(13); Time;
Print #1, Tab(33); Format(Date, "dddd, d mmm yyyy")
Print #1, Tab(1);
"_____"
'Print #1, Tab(1); "Número de Leituras = "; Val(lbnúmerodeleituras.Caption);
Print #1, Tab(1); "Intervalo de tempo = "; Val(cxintervalodetempo.Text);
Print #1, Tab(1); "Número de Sensores = "; Val(lbnúmerodesensores.Caption);
Print #1, Tab(1); "Número de Intervalos = "; Val(lbintervalos.Caption);
```

```
Print #1, Tab(1); "_____"
Print #1, Tab(1); "Índice Tempo S1-T oC S2-Rad. (W m-2) S3-UR% ";
Print #1, Tab(1); "_____"
For i = 1 To contazero
   Print #1, Tab(1); i;
   'Print #1, Tab(17); i * Val(cxintervalodetempo.Text);
   Print #1, Tab(17); Format(guardatempo(i), "h:mm");
   Print #1, Tab(34); Format(S1(i), "#0.00");
   Print #1, Tab(49); Format(S2(i), "#0.00");
   Print #1, Tab(72); Format(S3(i), "#0.00");
Next i
Print #1, Tab(1); "_____"
Print #1, EndDoc
Close #1
On Error Resume Next
MsgBox "Arquivo Gerado com Sucesso", 64, "Dir: C\aaa\"
End Sub
```