

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

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO
COM SENSORES ALTERNATIVOS PARA COLETA E
ARMAZENAMENTO DE DADOS MICROMETEOROLÓGICOS**

GERALDO APARECIDO RODRIGUES NEVES

Orientador: **Prof. Dr. José de Souza Nogueira**
Coorientador: **Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes**

**Cuiabá, MT
Dezembro/ 2013**

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

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO
COM SENSORES ALTERNATIVOS PARA COLETA E
ARMAZENAMENTO DE DADOS MICROMETEOROLÓGICOS**

GERALDO APARECIDO RODRIGUES NEVES

*Tese apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Física
Ambiental da Universidade
Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em
Física Ambiental.*

Orientador: **Prof. Dr. José de Souza Nogueira**
Coorientador: **Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes**

Cuiabá, MT
Dezembro/ 2013

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R696d Rodrigues Neves, Geraldo Aparecido.
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO COM
SENSORES ALTERNATIVOS PARA COLETA E ARMAZENAMENTO DE
DADOS MICROMETEOROLÓGICOS / Geraldo Aparecido Rodrigues Neves. --
2013
67 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: José de Souza Nogueira.
Co-orientador: Marcelo Sacardi Biudes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013.
Inclui bibliografia.

1. Sistemas de armazenamento de dados. 2. Sensores. 3. coleta automatizada. I.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

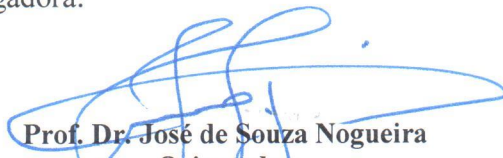
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

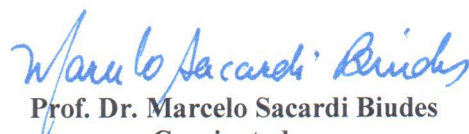
FOLHA DE APROVAÇÃO

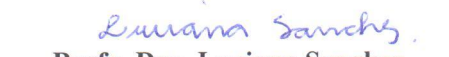
**TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA
AUTOMATIZADO COM SENSORES ALTERNATIVOS
PARA COLETA E ARMAZENAMENTO DE DADOS
MICROMETEOROLÓGICOS**

AUTOR: GERALDO APARECIDO RODRIGUES NEVES

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 06 de dezembro de 2013, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. José de Souza Nogueira
Orientador
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes
Coorientador
Instituto de Física - UFMT


Profa. Dra. Luciana Sanches
Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia
e Tecnologia - UFMT


Prof. Dr. Arnulfo Barroso de Vasconcellos
Examinador Interno
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
UFMT


Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo
Centro Universitário de Várzea Grande - UNIVAG

DEDICATÓRIA

Deus, desta vez só quero agradecer!

AGRADECIMENTOS

A Deus;

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

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

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

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

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

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

Ao meu querido irmão Alfredo Santos Rodrigues Neves;

À UFMT pela logística e o auxílio financeiro;

À FAPEMAT através do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (PRONEX) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa processo n. 823971/2009.

A todos os colegas de curso que ajudaram em muito, os quais se tornaram grandes amigos.

“Deus não atende as nossas vontades e
sim as nossas necessidades”.

(Padre Fábio de Melo)

SUMÁRIO

SUMÁRIO	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELA.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	X
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. SALDO DE RADIAÇÃO	5
2.2. FLUXO DE CALOR NO SOLO	7
2.3. TEMPERATURA DO AR	10
2.4. UMIDADE RELATIVA DO AR	11
2.5. SENSORES.....	11
2.5.1. <i>Sensor Capacitivo</i>	<i>13</i>
2.5.2. <i>Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar</i>	<i>13</i>
2.5.3. <i>Saldo de radiômetro.....</i>	<i>15</i>
2.5.4. <i>Sistema de Aquisição de Dados</i>	<i>16</i>
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DAS TORRES EXPERIMENTAIS	17
3.2. EQUIPAMENTOS DE REFERÊNCIA	19
3.2.1. <i>Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar</i>	<i>19</i>
3.2.2. <i>Global.....</i>	<i>19</i>
3.2.5. <i>Datalogger (CR1000-Campbell).....</i>	<i>21</i>
3.3. SENSORES ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO CONSTRUÍDOS.....	24
3.3.1. <i>Sensor de Radiação Solar e acessórios</i>	<i>24</i>
3.3.2. <i>Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar</i>	<i>27</i>
3.3.3. <i>Proteção dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar</i>	<i>28</i>

3.3.4. Abrigo dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar	28
3.3.5. Sensor de Fluxo de Calor no Sólo.....	30
3.3.6 Construção do saldo radiômetro	34
3.3.7. Equipamento de Aquisição de Dados	36
3.4. CALIBRAÇÃO DE SENSORES.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1. TEMPERATURA E UMIDADE DO AR	48
4.2. RADIAÇÃO SOLAR	50
4.3. FLUXO DE CALOR.....	52
4.4. SALDO RADIÔMETRO	54
5. CONCLUSÕES	56
6. BIBLIOGRAFIA.....	57
6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS	57
6.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	61
ANEXO	64
CÓDIGO DO FIRMWARE	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração de um Saldo radiômetro	15
Figura 2. Prédio do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental/ UFMT	18
Figura 3. Termohigrômetro instalado em seu suporte (a) e termohigrômetro em seu desenho esquemático (b)	19
Figura 4. Piranômetro (LI-200SA).....	19
Figura 5. Saldo radiômetro Kipp & Zonen modelo NR LITE25 (Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands)	20
Figura 6. Sensor de fluxo de calor Hukseflux HFP01-15	20
Figura 7. Visão das partes do <i>Datalogger</i> . (Manual do CR1000, 2012).....	21
Figura 8. Painel de conexão do <i>datalogger</i> (Fonte: Manual do CR1000, 2012).....	22
Figura 9. Parte superior do encapsulamento de alumínio para proteção do sensor.....	25
Figura 10. Parte inferior do encapsulamento de alumínio para proteção do sensor.....	26
Figura 11 - Invólucro de proteção do sensor de radiação	27
Figura 12. Sensor SHT75	27
Figura 13. Acomodação do elemento sensor SHT75 em caixa ventilada	28
Figura 14. Estação meteorológica comercial.....	29
Figura 15. Discos de PVC da estação meteorológica comercial	29
Figura 16. Acomodação do conjunto elemento sensor SHT75 e caixa ventilada em abrigo termométrico protótipo.....	30
Figura 17. Pastilhas termoelétricas (a) componente da célula e (b) célula de <i>Peltier</i> ... 30	
Figura 18. Elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n.....	31
Figura 19. Elétrons que movem de um estado alto para um estado baixo	32
Figura 20. Sensor em corte do fluxo de calor.....	33
Figura 21. Montagem do encapsulamento do sensor de fluxo de calor	34
Figura 22. Corte transversal do sensor de saldo de radiação.....	35
Figura 23- Dimensões e suporte do sensor de saldo de radiação	35
Figura 24- Disposições dos suportes e sensores de referencia e protótipos fixados para calibração.....	36
Figura 25 - Esquema dos principais elementos do <i>Datalogger</i>	36
Figura 26 - Fluxograma esquemático dos processos necessários ao funcionamento do	

sistema	38
Figura 27 - Esquema elétrico do protótipo do <i>datalogger</i>	39
Figura 28. Interface do compilador MBED COMPILER	40
Figura 29. Interface do programa para desenvolvimento do circuito impresso	41
Figura 30- Layout da placa principal do Datalogger.....	42
Figura 31 - Acomodações do protótipo no abrigo de PVC	42
Figura 32- Conexões físicas do módulo do microcontrolador	43
Figura 33 - Sensores fixados na plataforma para calibração.....	44
Figura 34- Vista da base com os equipamentos instalados em campo – Fazenda Miranda.....	45
Figura 35- Calibração dos sensores de fluxo de calor (1, 2, 3, 4 e 5) ao centro o sensor de referência (REF.).....	45
Figura 36- Sensor protótipo à esquerda sensor de referência à direita.....	46
Figura 37 – Variação horária da temperatura e umidade relativa do ar medidas pelo sensor protótipo e de referência.....	49
Figura 38 – Relação entre a temperatura e umidade relativa do ar medidas pelo sensor protótipo e o de referência. *** <i>significativo $p < 0,001$</i>	49
Figura 39. Variação horária da radiação solar direta medidas pelo sensor protótipo e de referência	50
Figura 40 - Relação entre a radiação global direta medidas pelo sensor protótipo e o de referência	51
Figura 41 – Variação horária do fluxo de calor no solo medidas pelo sensor protótipo	52
Figura 42 – Relação entre o fluxo de calor no solo medido pelo sensor protótipo e o de referência	53
Figura 43 – Variação horária do saldo de radiação medidas pelo sensor protótipo e o de referência	54
Figura 44 – Relação entre o saldo de radiação pelo sensor protótipo e o de referência.	55

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre a temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) medidas pelo sensor de referência (abcissa) e pelo protótipo (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).50

Tabela 2. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre a radiação solar incidente medida pelo sensor de referência (abcissa) e pelos protótipos (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).51

Tabela 3. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre o fluxo de calor no solo medido pelo sensor de referência (abcissa) e pelos protótipos (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).54

Tabela 4. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre o saldo radiação medida pelo sensor de referência (abcissa) e pelos protótipos (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).55

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AC	Corrente Alternada (Alternating Current)
ADC	Conversor Analógico Digital
AG	Terra Analógico (Analog Ground)
C	Linguagem de Programação Compilada
DC	Corrente Contínua (Direct Current)
DIFF	Diferencial (Differential)
FAT32	Tabela de Alocação de Arquivos (File Allocation Table)
I/O	Entrada e Saída (Input/Output)
I ² C	Protocolo e barramento para comunicação
mV	miliVolts
°C	Graus Celsius
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PTAT	Proporcional a temperatura absoluta (Proportional To the Absolute Temperature)
R ²	Coeficiente de determinação
RAM	Memória de Acesso Randomico (Random Access Memory)
ROM	Memória Somente de Leitura (Read Only Memory)
SE	Único (Single Ended)
SW	Chaveamento (Switch)
TTL	Transistor-Transistor Logic
V	Volts
W/m ²	Watts por metro quadrado

RESUMO

NEVES, G. A. R. **Desenvolvimento de um Sistema Automatizado com Sensores Alternativos para Coleta e Armazenamento de Dados Micrometeorológicos**. Cuiabá, 2013. 67f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver sensores alternativos e sistema de armazenamento de dados para registros de variáveis micrometeorológicas, tendo em vista que modelos preditivos nas alterações climáticas em escala global e regional estão conduzindo a um interesse crescente no monitoramento dessas variáveis. A urbanização, o desmatamento e queimadas são importantes condutores no mecanismo da poluição e nas alterações climáticas na região norte e centro-oeste, modificam biótica e abioticamente as propriedades internas dos ecossistemas. Com a finalidade de aumentar os pontos de monitoramento, foram desenvolvidos sensores alternativos de radiação global, fluxo de calor no solo, saldo radiômetro, temperatura e umidade relativa do ar e também um sistema automatizado de armazenamento de dados para coleta dessas variáveis. Os sensores protótipos obtiveram coeficiente de determinação (R^2), que explica mais de 95% dos dados medidos em comparação com o de referência. O sistema de armazenamento de dados automatizado foi utilizado em campo e sua resposta foi semelhante aos registros obtidos com o de referência. Desse modo, pôde-se concluir a viabilidade da utilização desses sensores demonstrando-se confiáveis o seu emprego.

Palavras-chave: Sistemas de armazenamento de dados, sensores, coleta automatizada.

ABSTRACT

NEVES, G. A. R. **Development of an automated system sensors with alternative collection and storage of data micrometeorological.** Cuiabá, 2013. 67f. Thesis (Ph.D. in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

The aim of this study was to develop an alternative sensors and system data storage to register micrometeorological variables, given that predictive models for climate change in global and regional scale are leading to a growing interest in monitoring these variables. Urbanization, deforestation and fires are important drivers in the mechanism of pollution and climate change in the North and Midwest, resulting in biotic and abiotic changes in the internal properties of ecosystems. With the purpose of increasing the number of monitoring points, alternative sensors were developed to measure global radiation, soil heat flux, net radiometer, air temperature and relative humidity as well as an automated data storage for collection of these variables. The prototype sensor presented a coefficient of determination (R^2) that explains more than 95% of the measured data in comparison with the conventional one. The automated data storage system was used at experimental field and its response was similar to records obtained with the reference one (conventional). Thus, we conclude the feasibility of using these sensors, demonstrating be reliable its use.

Keywords: Systems data storage, sensors, automated collection.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, face ao desenvolvimento técnico-científico, vem ocorrendo uma preocupação em entender o complexo sistema meio ambiente, tornando necessário o emprego de dispositivos sensíveis capazes de ler e armazenar informações sobre as variáveis climáticas /ambientais. Seja em ecossistemas naturais, na agricultura e região urbana as pesquisas têm o interesse em aliar a produção e ocupação dos espaços com os fatores climáticos.

O Estado de Mato Grosso abriga três biomas dos encontrados no Brasil, uma extensão da Floresta Amazônica ao norte, o Cerrado na porção central e parte da região sul e o Pantanal no extremo sul do estado, que enfatizam questões relevantes que devem ser mantidas por meio de monitoramentos das variáveis climáticas. A inter-relação entre os biomas justifica a necessidade do monitoramento por meio de estações micrometeorológicas a fim de acompanhar as alterações no uso e cobertura do solo identificando as relações dos fluxos de energia e matéria entre os biomas existentes.

Diante da análise de ambientes distintos, as variáveis climáticas adquirem comportamentos diferenciados entre biomas. Neste caso, devem-se considerar as mudanças que ocorrem em função do tipo de ecossistema, adequando com objetivo, seja em atividades agrícolas ou mesmo urbana. Em um estudo detalhado da região é requerido o auxílio de várias estações de monitoramento destes ambientes considerando a abrangência das estações micrometeorológicas dada a influencia de cada entorno que poderia obter uma célula com maior representatividade caracterizada.

A fim de aumentar os pontos de monitoramento faz-se necessário baixar os custos equipamentos, sendo a opção de utilizar “hardware” livre que utilizam sensores e microprocessadores programáveis, com capacidade de executar com precisão, a leitura de variáveis micrometeorológicas e o armazenamento de dados, com controle de tempo predeterminado pelo operador e transmitindo para centrais remotas usando sistemas existentes de telecomunicação e armazenados em base de dados.

Portanto, o objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de sensores alternativos e um sistema automatizado de armazenamento de dados para coleta de dados de variáveis micrometeorológicas. Para atingir esse objetivo foram necessários os seguintes objetivos específicos, tais como;

- 1 - Avaliar os sensores disponíveis para aquisição no mercado similar;
- 2 - Projetar e construir dispositivos correspondentes aos de referencia;
- 3 - Avaliar o desempenho dos sensores construídos a partir dos dispositivos de referencia;
- 4 - Calibrar os sensores construídos

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em florestas estudos de simulação numérica do clima em situações naturais e de desmatamento (troca da superfície vegetada de floresta tropical por áreas de pastagem) com o intuito de entender melhor o mecanismo dos ecossistemas naturais, também vêm sendo realizados, (NOBRE et al., 1991; 1999; VOURLITIS & OECHEL, 1997 e 1999; VOURLITIS et al., 2001; AVISSAR, 1991; GRACE, 1992.

Nestes estudos foram utilizados instrumentos meteorológicos fabricados por empresas especializadas brasileiras e internacionais. Porém, sua utilização ainda torna-se restrita, principalmente em função de seu elevado custo que na maioria das vezes não se restringe a seu emprego, durabilidade, precisão, necessidades de manutenção, facilidade de interfaciamento entre sensor e sistema de armazenamento e transmissão de dados, (GARRISON et al., 2000).

Em todo o mundo há expansão do uso de sistemas automatizados de coleta de informações de variáveis microclimáticas que auxilia no monitoramento e gerenciamento nas práticas de otimização de insumos, aumentando a produtividade e preservação ambiental, (EFE & ADOGBEJI, 2006).

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

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

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

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

Sugawara (2003), em sua tese de doutorado desenvolveu sensores com componentes eletrônicos comerciais, visando o desenvolvimento de uma estação meteorológica automática de baixo custo. Os resultados indicaram a viabilidade de uso dos sensores alternativos para reduzir os custos, ressaltando-se que os sensores-teste e o abrigo de sensores representaram 3,7 % do custo do sensor padrão.

Rinhel (2011), em seu trabalho de conclusão de curso desenvolveu uma estação meteorológica com transmissão de dados sem fio. No projeto desenvolvido, aplicaram-se conhecimentos de sensores, que realizam a transformação de grandezas físicas em sinais elétricos, de microcontroladores, que realizam o processamento dos dados adquiridos, dos circuitos de radiofrequência, que permitem a comunicação entre a estação e um terminal receptor dos dados e de software que permitiu a visualização dos dados e o armazenamento dos mesmos.

Palmieri (2009), desenvolveu em sua dissertação de mestrado 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*). Concluiu que a viabilidade de utilização deste instrumento mediante o seu baixo custo de produção 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.

Na avaliação e eficiência de instrumentos alternativos de baixo custo para a medição de dados agrometeorológicos, quando comparados com os instrumentos padrões, de custo mais elevado, Nerandi et al. (2010), concluiu-se que todos os instrumentos alternativos apresentaram boa precisão ($R^2 = 0,90 - 0,94$ para ambos os tipos de globos-termômetros e $R^2 = 0,8$ para o psicrômetro); observou-se também que, em ambos os experimentos, os instrumentos alternativos apresentaram exatidão satisfatória, podendo ser utilizados em estudos agrometeorológicos, implicando menores custos para a pesquisa.

Biudes (2008) considera a utilização de sensores para medir variáveis micrometeorológicas em pesquisas da interação biosfera-atmosfera, ao estimar o balanço de energia em áreas rurais ou mesmo urbana.

2.1. SALDO DE RADIAÇÃO

A energia solar é a fonte primária de energia, responsável pelos processos físicos naturais. Nos processos de transpiração das culturas e evaporação da água do solo, que conjuntamente denomina-se evapotranspiração, a radiação solar é a principal energia condicionante. O saldo de radiação ou radiação líquida sobre uma superfície vegetada é o resultado do balanço global de radiação, o qual envolve o balanço de ondas curtas e longas. Assume-se valor positivo quando o fluxo direciona-se para a superfície, normalmente durante o período diurno, e negativo quando o fluxo está no sentido oposto, durante a noite. O total diário da energia radiante quase sempre é positivo, exceto em condições extremas, em altas latitudes, (TANNER e LEMON, 1962).

O saldo de radiação de uma cultura constitui-se em uma variável fundamental na modelagem de diversos processos naturais, como na estimativa do balanço de energia e evapotranspiração, (CUNHA et al., 1993).

Estimativas reais sobre superfícies naturais como solo nu, gramado, culturas anuais ou perenes são importantes para a determinação da energia disponível para os processos de transferência de calor sensível e latente entre superfície e atmosfera. Portanto, para obterem-se estimativas corretas de evapotranspiração, é importante obter o medido ou estimado de forma correta e precisa, (OLIVEIRA e LEITÃO, 2000). Apesar de serem calibrados anualmente e sofrerem manutenções periódicas, é comum a ocorrência de diferenças acima de 10% entre medidas com instrumento padrão e utilizados em campo (LLSAT e SNYDER, 1998).

A radiação solar global incidente que atinge a superfície da terra depende principalmente da turgidez atmosférica, da cobertura de nuvens e da topografia. Esta energia, ao atravessar a atmosfera, tem parte refletida pelas nuvens, parte é espalhada pelas moléculas e partículas do ar e parte é absorvida pelo vapor de água, dióxido de carbono, ozônio, compostos nitrosos e aerossóis, podendo ser atenuada em até 70%, (ARTAXO et al., 2005). A porção absorvida aumenta a temperatura do ar e, por conseguinte aumenta a emissão de ondas longas para a superfície da terra e para o espaço. O balanço de radiação representa, em última análise, as fontes e sumidouros de energia que afetam condições meteorológicas e clima do planeta, (SOUZA e ESCOBEDO, 1997).

A quantidade de radiação sobre o topo da atmosfera da Terra depende principalmente do período do ano, período do dia e latitude. A duração do dia está relacionada com o período do ano, aumentando ou diminuindo com o aumento da latitude, a depender da estação. No verão do hemisfério Sul, por exemplo, a duração do dia aumenta do Equador em direção ao pólo Sul e diminui em direção ao pólo Norte.

A relação entre o saldo de radiação, em uma superfície padrão (gramada), é maior no período chuvoso (0,577) que no período seco (0,503), devido ao maior coeficiente de reflexão da superfície no período seco, além da nebulosidade e umidade do ar associados ao regime de chuvas. Essas variáveis interferem no balanço de ondas longas, havendo redução da perda de radiação na faixa do infravermelho termal sob condições de alta umidade relativa do ar e com a presença de nuvens, o que resulta em maior saldo de radiação diário (SENTELHAS e NASCIMENTO, 2003). Resultados semelhantes foram observados no trabalho de Pezzopane et al. (2005) em um cultivo consorciado de bananeira e cafezal, apresentando relação entre e no período chuvoso de 0,62 e 0,68 e no período seco de 0,34 e 0,35 a pleno sol e no cultivo consorciado, respectivamente.

Em geral, estudos comparativos da relação entre e em pastagem e floresta, ambos localizados na região Amazônica, apresentam maiores valores na floresta, como nos trabalhos de Bastable et al. (1993), os quais observaram uma relação de 0,70 na pastagem e 0,79 na floresta, e Culf et al. (1996), que embora não apresentou explicitamente os resultados, observaram variação sazonal de 0,59 a 0,64 na pastagem e 0,62 a 0,74 na floresta.

2.2. FLUXO DE CALOR NO SOLO

Quando uma porção de certa substância é aquecida, o calor gerado pelo aquecimento tende a se propagar em todas as direções até que se atinja o equilíbrio térmico. Essa propagação de calor vai ser diferente, para diferentes substâncias devido aos vários tipos de interações que podem ocorrer entre a matéria e a energia térmica (calor). Entre os processos físicos de propagação de calor, o que predomina no caso de substâncias sólidas, é a condução, no qual o mecanismo de propagação não altera fisicamente as propriedades da substância sólida. Nesse caso, o calor é transmitido por ondas originadas por vibração dos átomos que compõem a rede cristalina, (TOULOUKIAN et al., 1973).

Trabalhos apresentando simulações do clima concluíram que a partição de energia na superfície é especialmente sensível à variação diurna na partição de energia em superfície, (DICKINSON et al., 1991). O fluxo de calor sensível entre a

atmosfera e o solo é determinado principalmente pela diferença de temperatura entre a superfície do solo e do ar imediatamente acima dele. Previsão da temperatura da superfície do solo, portanto, desempenha um papel importante nos modelos numéricos hidrológicos e atmosféricos, (GAO et al., 2008).

O fluxo de calor para o solo representa a fração do saldo de radiação que foi transferida para os níveis inferiores do solo e, geralmente, resulta em acréscimo de energia para o meio à noite, ou em diminuição, no período diurno, (GALVANI et al., 2001).

O conhecimento da variação do fluxo geotermal, induzido pela radiação solar, nas camadas mais superficiais é de suma importância para as Geociências, pois essas profundidades constituem-se palco principal de inúmeros processos geoquímicos, principalmente intemperismo e lateritização, como também, processos geofísicos, tais como mudanças nos valores da condutividade térmica e da difusividade térmica do material existente na zona de aeração. A importância da definição de que as variações diurnas da temperatura subsuperficial podem ou não ser consideradas desprezíveis à profundidade de 1,0 m se estende, na verdade, além das fronteiras de atuação das Geociências, pois abrangem profundidades de real interesse para as ciências biológicas, ambientais, florestais, agrônômicas etc. Tais profundidades constituem-se, ainda, em cenário fundamental para a biosfera, portanto, abrange, também, as ciências sociais, (ARAÚJO et al., 2004).

Este fluxo nas diferentes profundidades pode variar bastante no espaço e com o tempo. O fluxo de calor no solo é condicionado principalmente pela absorção de energia solar à superfície, a oscilação da temperatura do solo apresenta um ciclo diário e outro anual, que, embora com certa defasagem, acompanham os respectivos movimentos aparentes do Sol. Essas defasagens se explicam porque o fluxo de calor no interior do solo é relativamente lento. Assim, o instante em que se verifica a temperatura máxima do solo a uma dada profundidade, acontece algum tempo depois do momento em que se verificou a temperatura máxima do ar naquele dia. A defasagem é tanto maior quanto mais profunda a camada que se considere, (GEIGER, 1980).

No interior do solo, o transporte de calor se faz por condução e através da água, por convecção. Pode-se, mencionar, ainda, a ocorrência de reações exotérmicas

e endotérmicas, puramente químicas, ou decorrentes da atividade biológica de microrganismos telúricos.

A temperatura do solo é um dos mais importantes fatores de crescimento de plantas, (KIRKHAM e POWERS, 1972). A principal causa da variação da temperatura na superfície do solo é a alteração da intensidade da radiação solar, (VAN WIJK, 1966).

O conhecimento da variação horária, diária, estacional e anual da temperatura do solo é fundamental para regiões e épocas do ano nas quais sua variação possa inibir ou prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. A temperatura do solo é um dos fatores determinantes da velocidade de germinação das sementes e de desenvolvimento das plântulas, sendo sua influência maior nos subperíodos de semeadura-emergência e crescimento inicial das plantas. Nestes períodos, tendem a ocorrer acentuadas amplitudes térmicas diárias, principalmente próximas a superfície do solo, justamente pela falta de cobertura, (SCHNEIDER, 1993).

As trocas energéticas que se processam entre a camada limite planetária e a superfície do solo são de fundamental importância em diferentes estudos agrometeorológicos e de modelagem atmosférica. O estudo de tais processos contribui para um entendimento melhor dos processos de ocorrência da geada, orvalho e previsão de temperaturas extremas.

A principal utilização prática das medições do fluxo de calor no solo é em estações meteorológicas que têm a finalidade estabelecer o balanço energético na superfície. Este balanço de energia trata em parte das transferências entre atmosfera e vegetação, parte dos estudos climatológicos parte para um cálculo muito mais preciso de evaporação, (BUCHAN et al. 1991; FRANKS et al., 1997).

Reichardt e Timm (2004) descrevem um modelo de variação de temperatura no solo, no qual considera um perfil de solo sem vegetação, homogêneo, de densidade e umidade constante ao longo da profundidade z , exposto à radiação. Assim, define a temperatura da superfície ($z = 0$) de um solo em função do tempo pela Equação 1.

$$T(0,t) = \bar{T} + T_0 \sin \omega t \quad \text{Equação (1)}$$

Em que $\bar{T}$ é temperatura média diária, T_0 é a amplitude da temperatura do solo na superfície ao longo do dia (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima do dia) ($^{\circ}\text{C}$), ω é a velocidade angular da Terra ($2\pi/24$) rad.h^{-1} e t é o tempo (horas).

Em uma profundidade teoricamente infinita a temperatura do solo não varia com o tempo e a equação (1) se reduz a equação (2).

$$T(\infty, t) = \bar{T} \quad \text{Equação (2)}$$

Há também fontes de calor originadas no centro da Terra, no qual este tipo de fonte exerce influência significativa na parcela do balanço de energia referente ao solo, conforme estudos realizados por Hamza (1982); Hamza e Munhoz (1996); Hamza et al. (2005), por exemplo, em regiões próximas a vulcões ou fontes geotermiais, como as existentes na pousada do Rio Quente na Serra de São Vicente a 85 km de Cuiabá, e que são muito comuns no Brasil.

2.3. TEMPERATURA DO AR

A temperatura média do ar possui relação direta com a intensidade de radiação solar recebida e o estado do céu (nebulosidade). Se há nuvens, estas interceptam o fluxo de radiação infravermelha emitida, modificando o balanço térmico local. Se o céu estiver limpo, o solo ganha energia solar, mas perde energia por irradiação mais do que com céu encoberto.

A temperatura do ar em uma determinada localidade depende também do ganho de calor, devido ao deslocamento de massas de ar que ocorre através dos ventos, correntes oceânicas e da existência de proximidade de grandes massas de água, as quais atenuam as amplitudes térmicas, (BUTERA, 1995).

Normalmente, os dados relativos à temperatura do ar estão disponíveis em diversas formas, conforme destaca Butera (1995), podendo se ter: valores médios, máximos e mínimos anuais, mensais e diários, distribuição de frequência dos valores diários, das médias diárias, etc. Continua ele, afirmando que para efetuar a caracterização do clima térmico de uma localidade, recorre-se ao dado proveniente

de observações efetuadas em um período de tempo suficientemente longo, para que estas tenham valor estatístico (utilizando no mínimo 3 anos).

2.4. UMIDADE RELATIVA DO AR

O vapor d'água é um dos constituintes variáveis do ar atmosférico. Seu volume é determinado pela temperatura do ambiente, pois a capacidade de contenção do vapor d'água na atmosfera é função da temperatura do ar.

A flutuação diária da umidade relativa é maior no verão do que no inverno, de forma análoga à temperatura do ar. Os valores mais elevados registram-se durante a madrugada, quando a temperatura do ar atinge seu valor mínimo, e mais baixo no início da tarde, correspondentemente ao máximo da temperatura de bulbo seco, (BUTERA, 1995).

2.5. SENSORES

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

Pode-se considerar também que um sensor é um tradutor de valores, geralmente não elétrico, para um valor elétrico; este pode ser canalizado, amplificado e modificado através de dispositivos eletrônicos. O sinal de saída pode apresentar-se na forma de diferença de potencial e corrente elétrica (GÜTHS e PAULO, 1998).

Tal conjunto de características é designado pelo formato do sinal de saída. Assim, um sensor apresenta propriedades de entrada, que podem ser de qualquer tipo, e propriedades elétricas de saída (BOLTON, 1988). Os sensores e os sistemas de aquisição de dados possuem características desejáveis, como: sensibilidade, precisão, faixa de atuação, estabilidade, tempo de resposta, histerese, linearidade e outros.

Helfrick e Cooper (1994), apresentam critérios indicativos para a utilização do *Datalogger*:

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

Os erros ou desvios sempre representam um resultado discutível e, por esse motivo, existe como verificar e classificar os tipos de erros que o sistema de captura está fornecendo na leitura e no armazenamento dos dados, como: erros grosseiros, sistemáticos, instrumentais e outros, (BASTOS, 2002).

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

Os sensores elétricos podem ser classificados de acordo com sua maneira de conversão dos sinais e da natureza da saída do sinal, sendo denominados sensores passivos e sensores ativos. Os ativos não necessitam de fonte externa de energia, enquanto os passivos sim. No caso em que o sensor é passivo, um sistema de condicionamento de sinal é necessário para fazer a medição. O mais comumente utilizado é o circuito divisor de tensão, (HELFRICK e COOPER, 1994). O condicionamento de sinais é a maneira que o sinal do sensor é tratado antes da ligação com o sistema de aquisição de dados. É importante interficiar de forma adequada, os sinais analógicos fornecidos pelo sensor passivo, para que o mesmo possa ser convertido em sinal digital para a aquisição dos dados, (HELFRICK e COOPER, 1994).

2.5.1. Sensor Capacitivo

Capacitores como sensores de umidade atmosférica, são formados, em geral por uma camada de polímeros que cobre um metal com uma fina camada de ouro depositada sobre ele, por evaporação a vácuo. Essa camada de ouro assim depositada é um filme suficientemente fino que permite a difusão do vapor d'água por meio dessa camada, (FIELD et. al., citados por PEARCY et al., 1989).

Os higrômetros são bastante sensíveis e apresentam variação linear da capacitância elétrica, com a umidade relativa entre 0 e 75% e precisão em torno de 2%. Nessa faixa, o tempo de resposta é muito baixo, alguns décimos de segundo, embora se torne mais lento com a redução da temperatura. A partir dos 75% de umidade relativa, verificam-se aumento no tempo de resposta e maior afastamento da linearidade, (FIELD et. al., citados por PEARCY et al., 1989).

Atualmente, existem no mercado sensores de umidade relativa com princípio capacitivo, construído de polímeros, platina e placa de silício. A umidade relativa é medida com a variação das propriedades físicas do dielétrico com a quantidade de água existente no ambiente em relação a dada temperatura. O sensor já possui em um mesmo encapsulamento o circuito condicionador de sinal que transforma a variação da capacitância em diferença de potencial, (SILVA, 2000).

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

2.5.2. Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar

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

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

resistência.

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

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

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

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

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

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

Outro método conhecido é o resistivo, que utiliza alumínio revestido por filme de óxido de alumínio. A estrutura desse filme apresenta poros cujo preenchimento por gotículas de vapor de água produz alteração do valor da sua

resistência ôhmica, (SPINOLA, 2005). Esta variação da resistência elétrica do material pode ser medida através de um circuito em ponte. Entretanto estes sensores possuem limitações à sua utilização em ambientes onde pode ocorrer a condensação, não trabalhando em nível de umidade relativa de 20%. Além disso, não possuem a mesma estabilidade dos sensores tipo capacitivos, (SENSIRON, 2005).

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

2.5.3. Saldo de radiômetro

É um instrumento para medir a radiação infravermelha líquida. A face de cima do sensor mede a energia solar e a energia infravermelha que recebe da entrada hemisférica (180 graus de campo de visão). A face de baixo do sensor mede a energia proveniente da superfície do solo. A saída é expressa em Watts por metro quadrado (W/m^2), **Figura 1**.



Figura 1. Ilustração de um Saldo radiômetro

Consistem em um detector térmico, duas coberturas de teflon nas superfícies e cabo. O detector térmico consiste em um número de termopilhas (junções em série de cobre e constantan) interconectadas. O sensor é muito sensível à temperatura e gera uma tensão (V) de saída (O sensor é passivo, portanto não necessita de fonte de tensão). A face superior e inferior é conectada às juntas superiores e inferiores respectivamente, do detector térmico. O sensor mede a diferença de temperatura

entre a face superior e a face inferior do sensor. Esta diferença de temperatura pode ser determinada com muita precisão (mudança de menos que $0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$ é detectada). A diferença de temperatura é proporcional à radiação líquida.

As características do equipamento:

- a) Impedância (nominal): $2,3\ \Omega$;
- b) Tempo de Resposta: $< 20\text{ s}$;
- c) 3-Sensibilidade (nominal): $10\mu\text{V}^{-1}\text{W}^{-1}\text{m}^{-2}$;
- d) Sinal esperado ao ambiente: -25 até $+25\text{ mV}$;
- e) 6- Estabilidade: $< \pm 2\%$ por ano;
- f) 7- Não Linearidades (estimado): $< 1\%$ acima de 2000 W/m^2

2.5.4. Sistema de Aquisição de Dados

Sistema de aquisição de dados (*Datalogger*) registram os de sinais provenientes dos sensores que, em sua maioria, analógicos. Tais sinais, ao chegarem ao sistema de aquisição de dados, são convertidos em sinais digitais, de forma discreta, contendo informações da amplitude ou da grandeza em questão (HELFRICK e COOPER, 1994).

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

3. MATERIAL E MÉTODOS

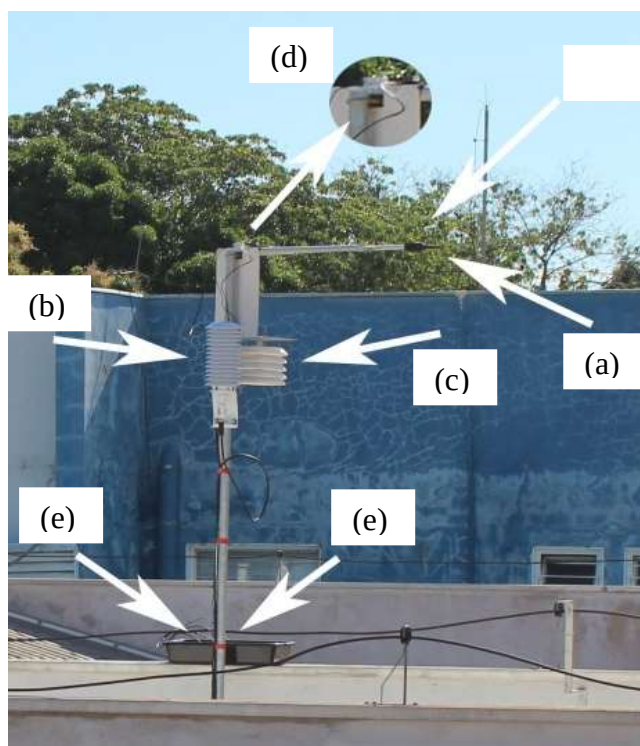
3.1. LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DAS TORRES EXPERIMENTAIS

O sítio experimental onde se realizou as medidas das variáveis para calibrações está situado na divisa da capital Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger, mais precisamente na Fazenda Miranda, estado de Mato Grosso - Brasil, de propriedade do Prof. Clóvis Miranda, situada a 15 km a sul de Cuiabá (15°43' Sul e 56°04' Oeste), com altitude média de 157m em uma faixa de transição entre o Cerrado e o Pantanal, com vegetação característica de Cerrado.

Outro local de estudo foi o prédio do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental em sua parte superior, onde foram fixados os sensores de temperatura e umidade de referencia, lado a lado situada no Campus Universitário da UFMT de Cuiabá (15°36' Sul e 56°03' Oeste) instalados em uma plataforma de suporte, **Figura 2.**

Duas estações meteorológicas foram instaladas com sensores protótipos, cada uma em um dos sítios experimentais. O primeiro na Fazenda Miranda e o segundo, no prédio do PPGFA.

Adjacente a estas estações protótipos foram instaladas uma estação com sensores adquiridos comercialmente.



Localização da parte superior do prédio do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental/ UFMT



(b) – Abrigo de referência com Termohigrômetro



(c) - Protótipo do abrigo com Termohigrômetro



(a) - Saldo radiômetro de referência Kipp & Zonen (NR LITE2) e Saldo radiômetro protótipo



(d) Sensor de radiação global referência e Sensor de radiação global protótipo



(e) Sensores de referência e protótipo para fluxo de calor no solo

Figura 2. Prédio do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental/ UFMT

3.2. EQUIPAMENTOS DE REFERÊNCIA

3.2.1. Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar

A temperatura do ar e umidade relativa do ar foi medida por um termohigrômetro (HMP 45 C., Vaisala, Inc. Helsinki, Finland), (**Figura 3**).

Sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global e fluxo de calor no solo forneceram os dados utilizados como referência no processo de calibração dos sensores construídos,

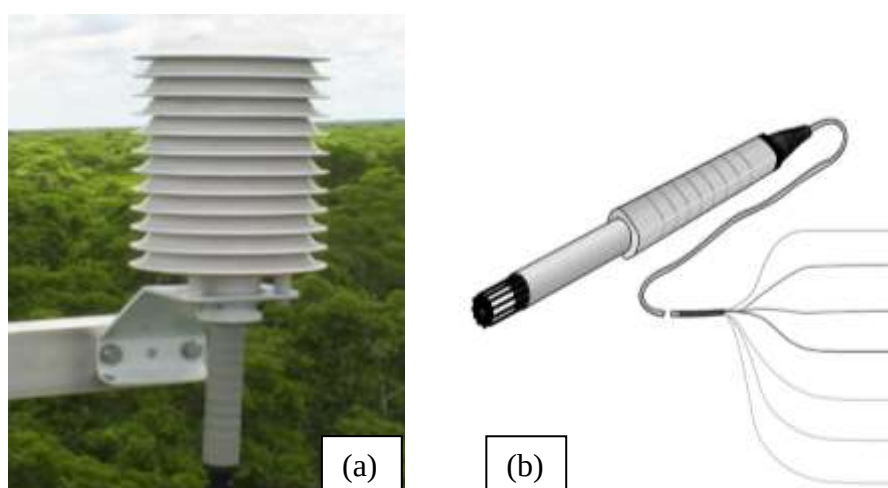


Figura 3. Termohigrômetro instalado em seu suporte (a) e termohigrômetro em seu desenho esquemático (b)

3.2.2. Global

O sensor de radiação solar global (LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR, Inc.) mediu a radiação solar total incidente, (**Figura 4**).



Figura 4. Piranômetro (LI-200SA).

O sensor de saldo de radiação ou saldo radiômetro (NR-LITER25 Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands) mediu a radiação líquida (**Figura 5**).



Figura 5. Saldo radiômetro Kipp & Zonen modelo NR LITE25 (Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands)

O sensor de fluxo de calor no solo (HFP01-15, Thermal Sensors, Hukseflux) mediu a radiação no solo, (**Figura 6**).



Figura 6. Sensor de fluxo de calor Hukseflux HFP01-15

3.2.5. Datalogger (CR1000-Campbell)

O *Datalogger* CR1000 é um coletor de dados, sendo programável e construído em um módulo metálico de alta rigidez mecânica e elétrica. O acesso à programação e controle é feito através de periféricos, como via comunicação serial (interface ou modem) com o auxílio de um computador, (**Figura 7**).



Figura 7. Visão das partes do *Datalogger* . (Manual do CR1000, 2012)

O *Datalogger* tem por finalidade armazenar informações de sensores conectados aos seus terminais. O processo de aquisição de dados pode ser obtido, pela leitura direta de seus valores, ou calculado e processado conforme as regras estabelecidas na sua programação.

Os terminais podem ser utilizados, como saída de dados conforme o modelo do *Datalogger*, para controlar dispositivos eletroeletrônicos externos ao equipamento.

Para a aquisição e armazenamento de dados foi utilizado *Datalogger* CR1000 (manual do CR1000) que possui 12 entradas analógicas simples (SE1 a SE12) programáveis ou 6 entradas analógicas diferenciais (DIFF1 a DIFF6); 3 saídas de excitação programáveis (E1 a E3); 2 entradas de pulsos (P1 a P2); 8 portas (entrada ou saída) digitais de controle (C1 a C8); tensão de alimentação 12Vcc (9,6V a 16Vcc); terra analógico; saídas de 5V; capacidade de memória (2Mb); uma porta de comunicação serial (Tipo DB9 – RS232), uma porta CS I/O para comunicação com telefone, RF, de curta distância e *modems* e uma porta para ligações de periféricas

(Peripheral Port) que permite que os dados sejam armazenados em um cartão (CompactFlash) e/ou suporte de comunicação de rede (Ethernet).

O CR1000 possui um painel de ligação (*wiringpanel*) com os terminais para a conexão dos sensores, alimentação e comunicação externa. Este painel também proporciona proteção contra transientes de sobre tensão e polaridade reversa, (**Figura 8**).

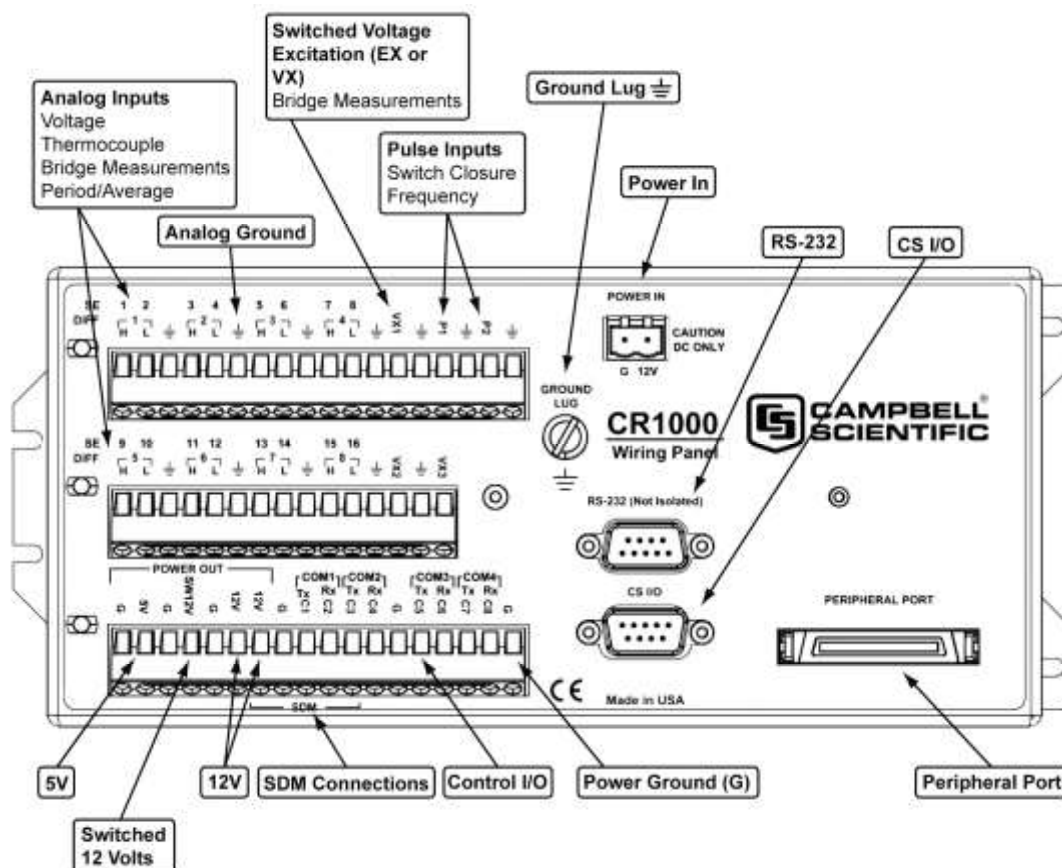


Figura 8. Painel de conexão do *datalogger* (Fonte: Manual do CR1000, 2012)

Os terminais denominados 1H até 15H e 2L até 16L foram utilizados para medir a tensão de saída de sensores, tais como termopares, psicrômetros, piranômetros, sensores PAR, (**Figura 8**).

As letras H e L se referem às entradas de sinais, identificados como sinal alto (*high*) e sinal baixo (*low*) utilizado em canais diferenciais (DIFF) de 1 a 8. Nas leituras diferenciais, a tensão analógica é medida de uma entrada H em relação a sua respectiva entrada L, formando um “canal diferencial”. Para medidas do tipo absoluto ou “*single ended*” (SE), cada uma das entradas H ou L é considerada um

canal independente, que mede as tensões com relação ao sistema terra analógicos (AG).

Os canais SE são numerados sequencialmente, sendo os canais 1 e 2 respectivamente os terminais H1 e L1, logo os canais 3 e 4 são o H2 e L2 e assim sucessivamente até os canais 15 e 16, que são o H8 e L8.

As saídas de excitação chaveadas (VE1 a VE3) fornecem tensões para multiplexadores, podendo alimentar divisores de tensão ou pontes resistivas em corrente AC ou DC.

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

As portas digitais de controle (C1 a C8) são utilizadas para medir o status de um dispositivo externo como testes de níveis lógicos digitais de tensão (*High / Low*). Elas também podem ser configuradas como saídas para controlar multiplexadores, sinal de referência de termohigrômetro e também outros periféricos. As Portas (C1 a C8) também funcionam como portas de pulsos. As portas COM1 a COM4 são quatro independentes pares Tx/Rx de comunicação serial, selecionável de 300 bps a 115,2 kbps.

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

O terminal de 5V fornece saída de tensão com tolerância de $\pm 0.2\%$ para alimentação de periféricos externos, interfaces ou alguns tipos de sensores que trabalham nesta faixa de tensão (em geral, circuitos eletrônicos digitais). Possui um limite de corrente de 200 mA., e outro terminal de 12V.

A conexão ao aterramento é utilizada para proteção do *Datalogger* e os sensores contra descargas eletrostáticas.

A comunicação com o *Datalogger* é feita através de sua porta serial, do tipo DB9 de 9 pinos, com qualquer equipamento que suporte tal método, como módulo de

memória, teclado/display, ou através de interfaces específicas para computador.

3.2.5.2. Software

O fabricante fornece uma ferramenta de desenvolvimento proprietária para a confecção dos sistemas que serão executados no *Datalogger*. O CR1000 trabalha com os softwares para desenvolvimento PC200W e LOGGERNET, executável em ambiente *Windows*, sendo compatíveis com padrão de arquivos CSV.

3.3. SENSORES ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO CONSTRUÍDOS

3.3.1. Sensor de Radiação Solar e acessórios

O elemento do sensor de radiação solar utilizado neste trabalho foi o BPW35S, da *OSRAM*, trata-se de um fotodiodo de alta velocidade e alta sensibilidade radiante, seu encapsulamento é do tipo SMD. Ele é especialmente adequado para aplicações na faixa de 400 nm a 1.100 nm do comprimento de onda.

Devido sua fragilidade foi montado em um cilindro de alumínio com as seguintes dimensões 3,7 cm de diâmetro por 1,2 cm de altura, ao topo do cilindro na parte central foi criada uma janela de 0,6 cm de diâmetro por 0,9 cm de profundidade para permitir a passagem da radiação solar, de forma a construir um colimador. Para vedação e proteção contra poeira e umidade foi construído um disco de acrílico translúcido leitoso com as seguintes dimensões, 0,6 cm de diâmetro 0,3 cm de altura, **Figura 9, Figura 10 e Figura 11.**

No interior do cilindro de alumínio foi fixada uma base de circuito impresso de fenolite, constituindo assim uma base para fixação do fotodiodo BPW35S com pontos de conectividade.

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

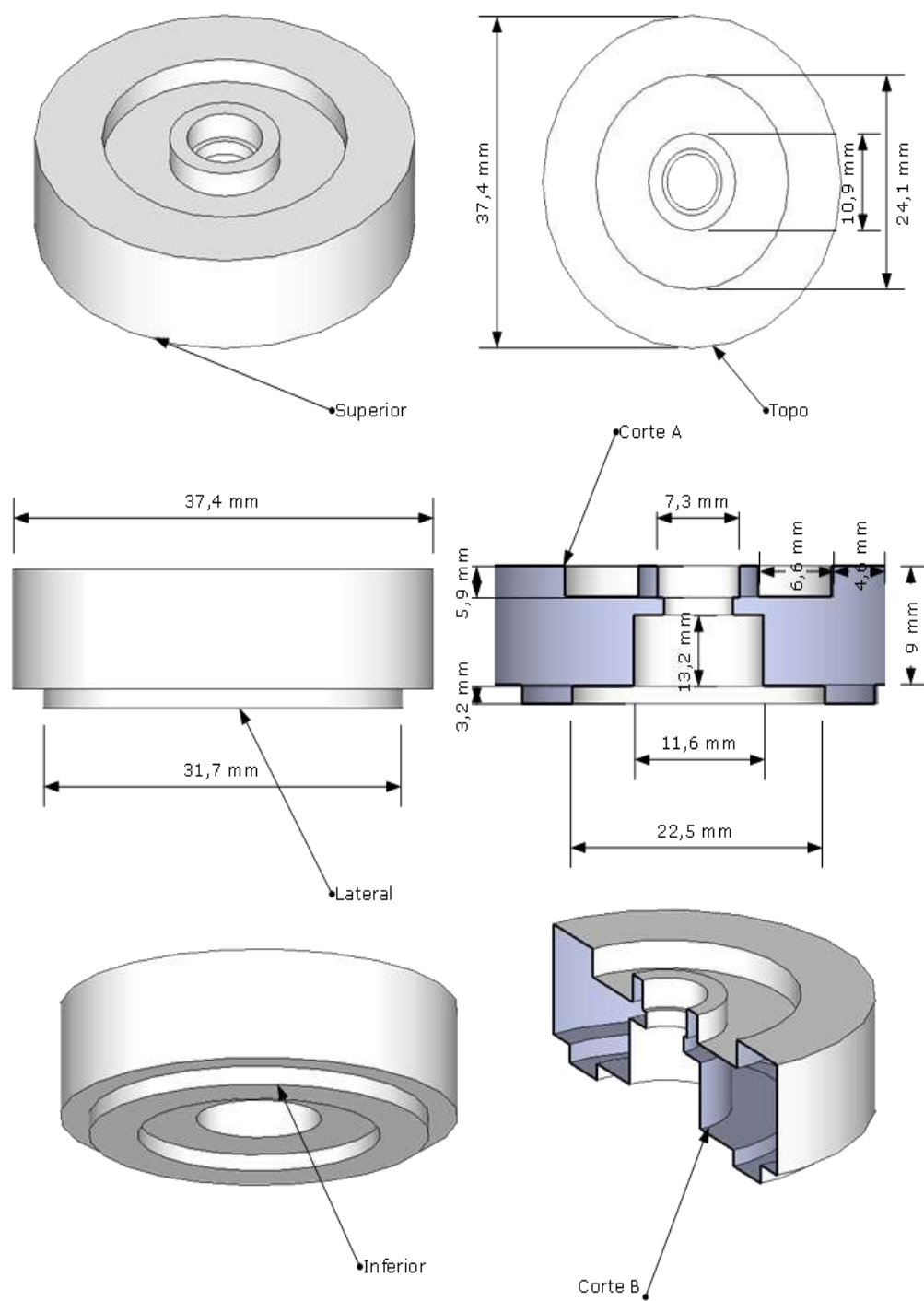


Figura 9. Parte superior do encapsulamento de alumínio para proteção do sensor

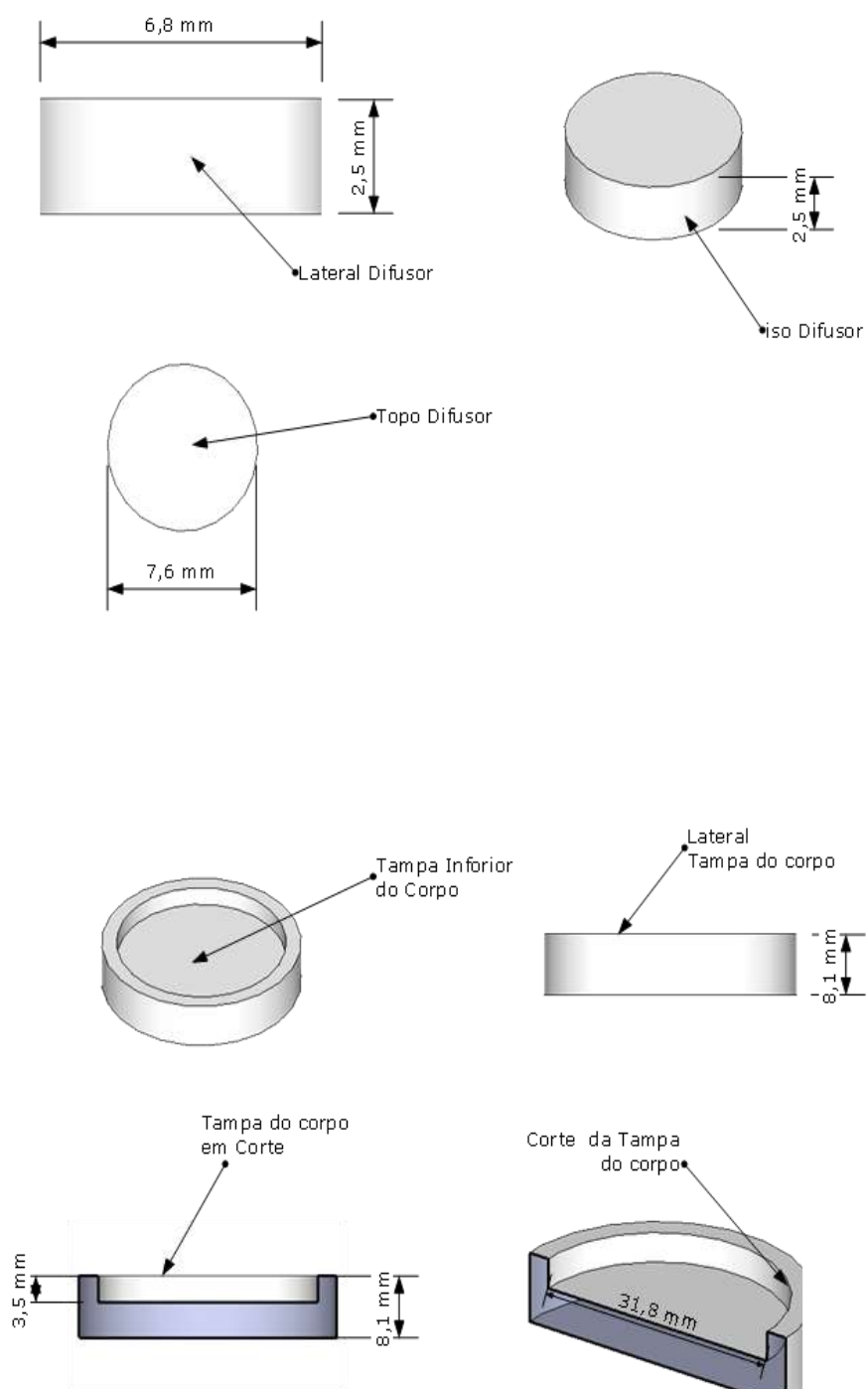


Figura 10. Parte inferior do encapsulamento de alumínio para proteção do sensor



Figura 11 - Invólucro de proteção do sensor de radiação

3.3.2. Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A temperatura do ar e a umidade relativa do ar foram medidas utilizando um sensor termohigrômetro (SHT75, Sensirion AG, Zurich, Suíça) (**Figura 12**). A seleção deste sensor foi baseada em diversos fatores: tamanho adequado para acomodá-lo em pequeno compartimento de proteção; precisão igual ou superior à maioria dos sensores comerciais; possui uma interface digital, usada no processo de obtenção dos dados, esse fator elimina alguns problemas de ruído associado a outros sensores que não são digitais; possui sensores individuais de temperatura e umidade relativa do ar, porém no mesmo encapsulamento. O sensor consiste de um PTAT *bandgap* (proporcional à temperatura absoluta) para temperatura do ar e um elemento sensor capacitivo para umidade relativa do ar.

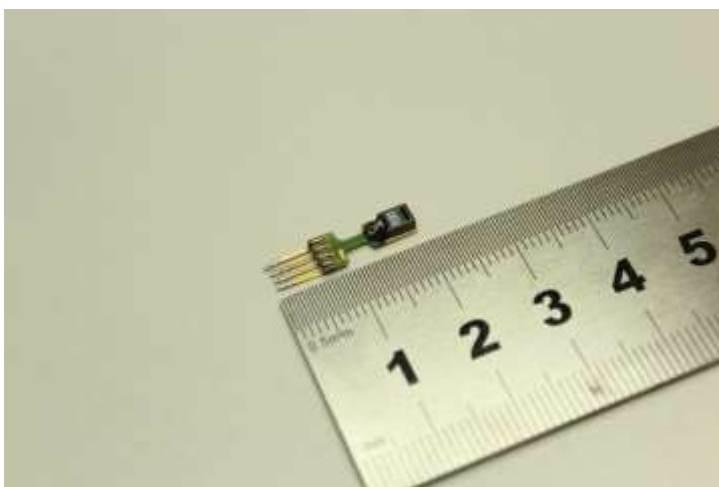


Figura 12. Sensor SHT75

3.3.3. Proteção dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

O sensor, sendo sensível a poeira e umidade, foi colocado em uma caixa ventilada com filtro poroso e dentro de um abrigo termométrico, evitando radiação direta, **Figura 13**.



Figura 13. Acomodação do elemento sensor SHT75 em caixa ventilada

Para que os sensores de temperatura e umidade relativa do ar (SHT75), não sofram com a exposição do tempo, como chuva, poeira, ataque de insetos ou outro agente interferidor, os mesmos foram soldados a uma placa de circuito impresso de fenolite de face simples, com dimensão de 2,0 cm x 2,5 cm, e conectado a um cabo de telefone de categoria 4 com 50,0 cm de comprimento, possuindo dois pares metálicos e um conector RJ-11 em sua extremidade, **Figura 13**.

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

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

3.3.4. Abrigo dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

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

Considerando esses requisitos, foi utilizado como referência a estação meteorológica da *Davis Instruments*, modelo 6152, **Figura 14**, onde possui um abrigo de proteção dos seus sensores de temperatura e umidade relativa do ar, constituídos por discos de PVC, sobrepostos com um espaçamento de 1,7 cm entre eles, e uma cavidade na parte central dos discos para acomodação dos sensores, **Figura 15**.



Figura 14. Estação meteorológica comercial



Figura 15. Discos de PVC da estação meteorológica comercial

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



Figura 16. Acomodação do conjunto elemento sensor SHT75 e caixa ventilada em abrigo termométrico protótipo

3.3.5. Sensor de Fluxo de Calor no Sólo

Pastilha Termoelétrica (*Peltier*) modelo TEC-112706 da *Acel Componets*, dimensões 40,0 mm x 40,0 mm x 3,4 mm, tensão máxima de 15,2 V, corrente máxima 6 A e potencia de 91,2 Watts.

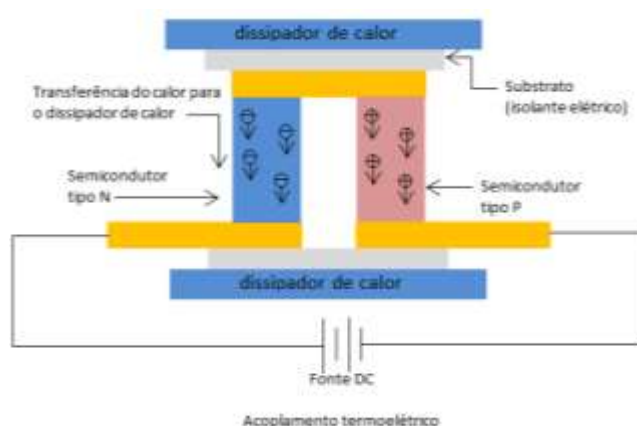


Figura 17. Pastilhas termoelétricas (a) componente da célula e (b) célula de *Peltier*.

Pastilhas termoelétricas operam utilizando o efeito Peltier, onde a teoria indica que há um efeito aquecedor ou resfriador quando uma corrente elétrica passa por dois condutores, **Figura 17**. A tensão aplicada aos pólos de dois materiais distintos cria uma diferença de temperatura. Graças a essa diferença de temperatura, o resfriamento Peltier fará com que o calor se mova de um lado para o outro. Uma típica pastilha de Peltier contém uma série de elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n, agrupados como pares que agirão como condutores dissimilares, **Figura 18**.

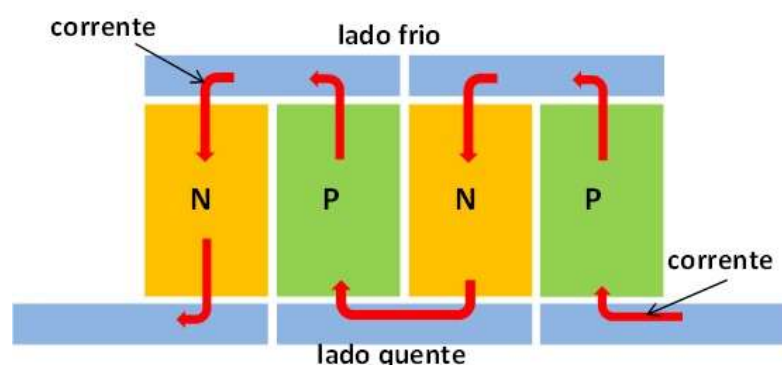


Figura 18. Elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n

Essa série de elementos é soldada entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo. Quando uma corrente DC passa por um ou mais pares de elementos de tipo-n a tipo-p, há uma redução na temperatura da junta ("lado frio") resultando em uma absorção do calor do ambiente. Este calor é transferido pela pastilha por transporte de elétrons e emitido no outro lado ("quente") via elétrons que se movem de um estado alto para um estado baixo, **Figura 19**. A capacidade de bombeamento de calor de um resfriador é proporcional à corrente elétrica e o número de pares de elementos tipo-n e tipo-p que compõe essa pastilha.

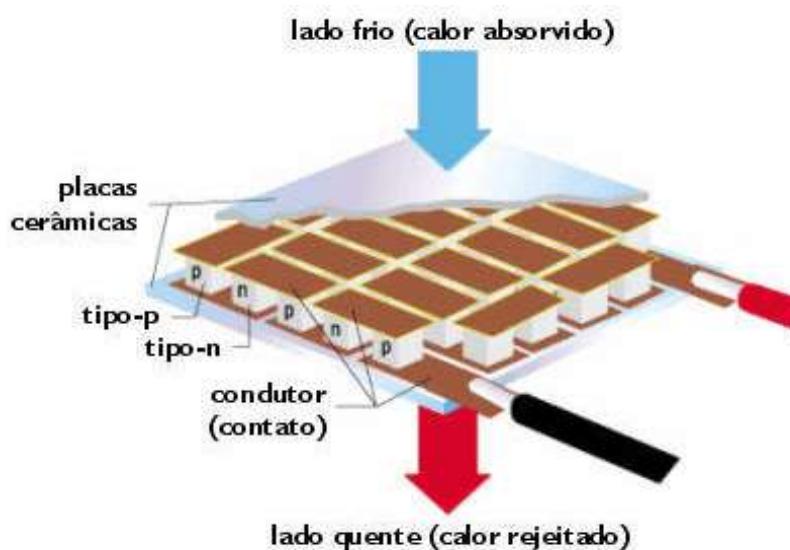


Figura 19. Elétrons que movem de um estado alto para um estado baixo

Considerando que o sensor constituído de fina placa de cerâmica e seus elementos, houve a necessidade de oferecer maior resistência mecânica e evitar infiltrações de líquidos, para evitar danos, foi construído um involucrio de massa plástica para prevenir possíveis ataques de agentes externos ou contaminação as pastilhas semicondutoras. O material utilizado foi a massa plástica automotiva de uso geral de cor cinza e seu correspondente catalizador fornecido pelo próprio fabricante da pasta, que ao serem misturadas, respeitando a proporcionalidade indicada em sua embalagem promovem o processo de endurecimento da massa.

Aconselha-se ter todos os materiais já previamente posicionados, o sensor devidamente orientado. Respeitar a igualdade da espessura entre a pastilha e o lado externo da massa, tendo o cuidado de manter a mesma espessura na camada inferior e superior do sensor. Após sua cura, será necessário fazer o identificativo dos lados, destacando o lado superior e o lado inferior, desta forma fica orientado os terminais dos sensores para adotar polos negativo e positivo, **Figura 20..**

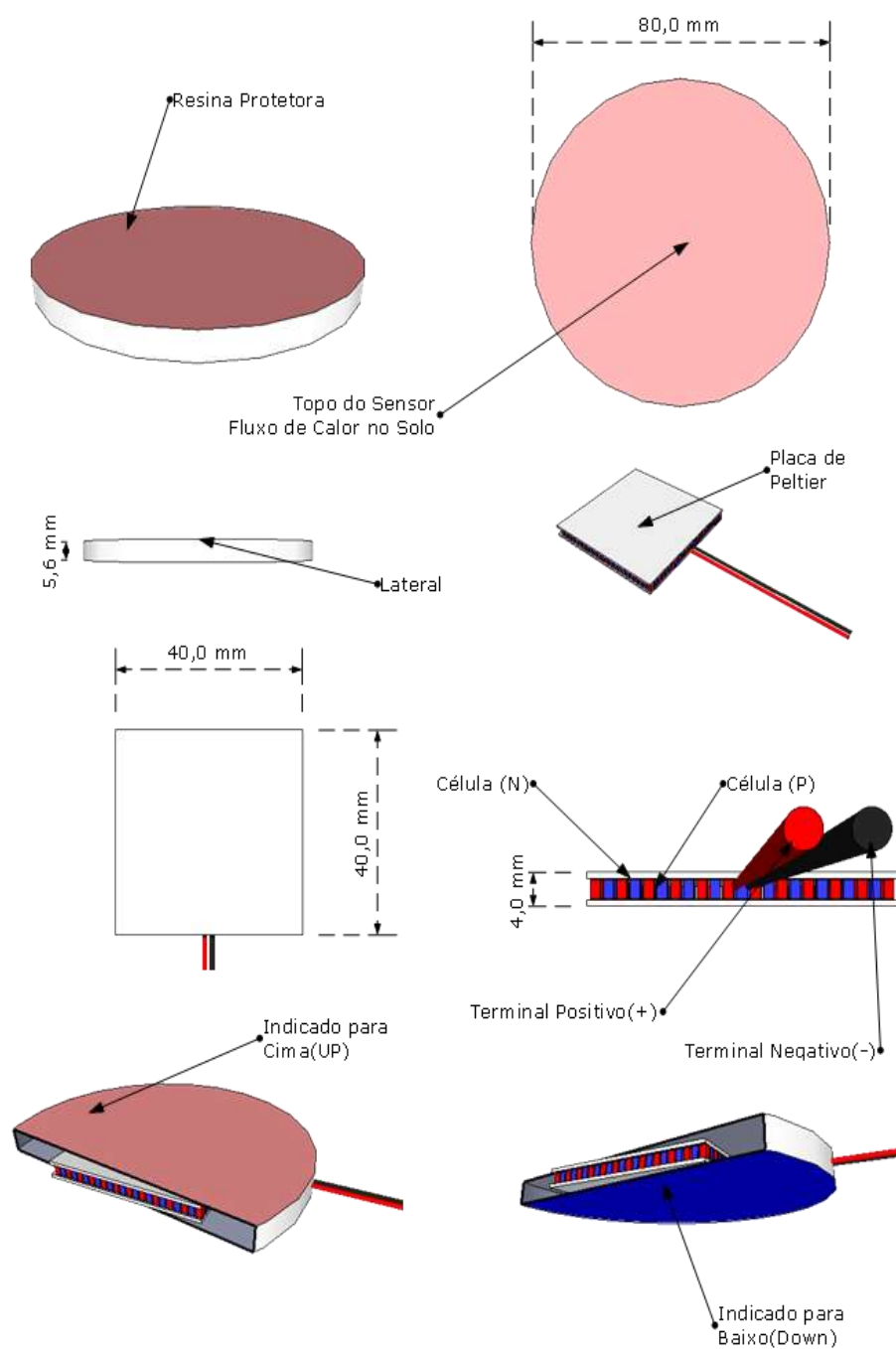


Figura 20. Sensor em corte do fluxo de calor

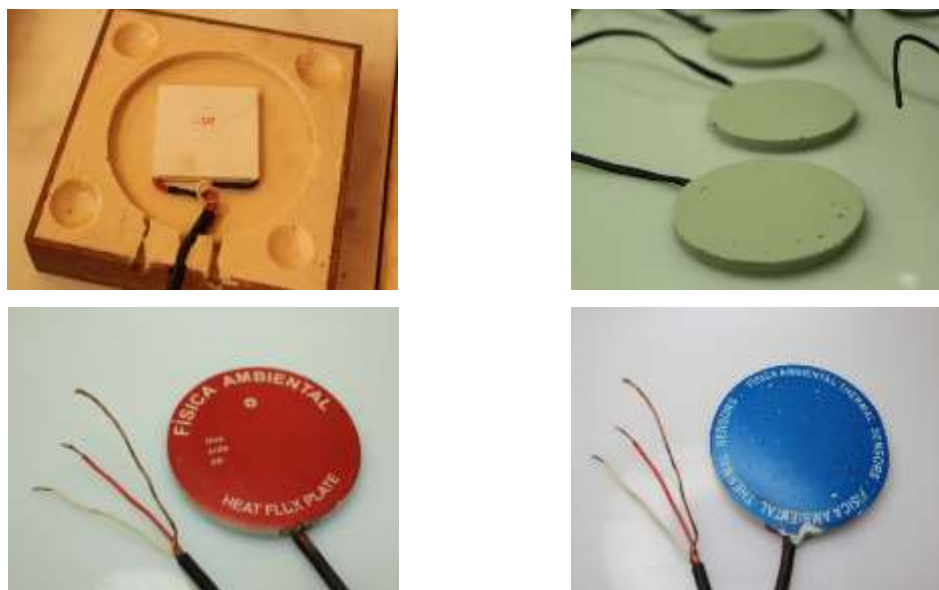


Figura 21. Montagem do encapsulamento do sensor de fluxo de calor

3.3.6 Construção do saldo radiômetro

O circuito elétrico básico do instrumento do saldo radiômetro compõe-se de uma termopilha de efeito Peltier, em que a parte superior mede a radiação solar global e a radiação atmosférica por meio da diferença de potencial (mV) obtida entre os terminais, gerada pela corrente elétrica descrita pelo efeito Peltier, já a parte inferior mede a radiação solar refletida e a radiação terrestre (**Figura 22**).

Esta pastilha de Peltier é envolvida em massa plástica de cor preta sua espessura é de 4,0 mm tendo um aumento gradativo máximo de espessura de 9,0 mm conforme Figura 23, sendo esse desnível inicial a partir da borda de 12,0 mm conforme Figura 23, provocando assim uma pequena inclinação na superfície do disco, esta forma geométrica auxilia no escoamento de matérias na superfície do mesmo. A haste de sustentação é constituída por um tubo de alumínio com 100,0 cm de comprimento e 1,9 cm de diâmetro.

O Saldo radiômetro é constituído pela diferença entre o sinal elétrico gerado pela atmosfera e a Terra. Assim, a associação do sinal elétrico da placa superior e da placa inferior resulta um terceiro sinal obtido pela diferença entre a termopilha superior e inferior, correspondendo ao saldo de radiação (R_n).

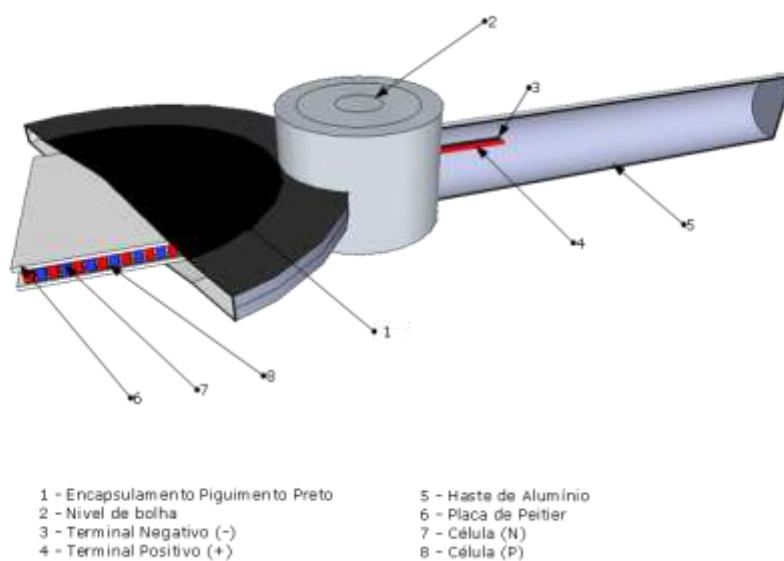


Figura 22. Corte transversal do sensor de saldo de radiação

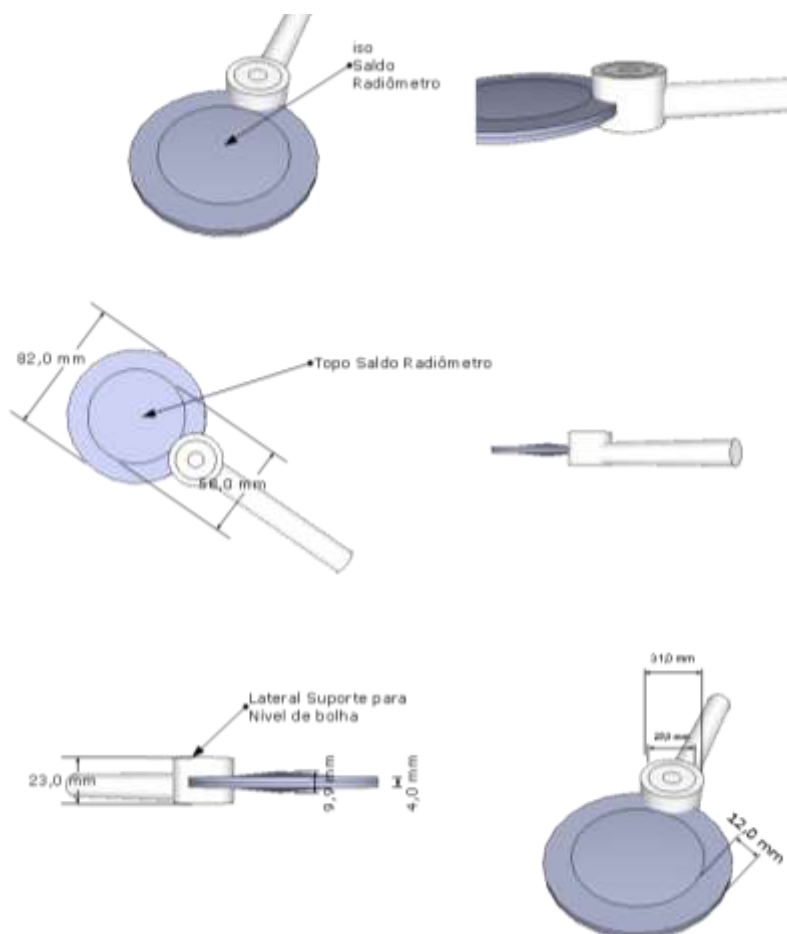


Figura 23- Dimensões e suporte do sensor de saldo de radiação

3.3.6.1. Calibração

Depois de concluída a etapa de construção, deu início a montagem dos sensores de saldo radiômetro de referência e saldo radiômetro protótipo, para realizar as calibrações dos mesmos **Figura 24**.



Figura 24- Disposições dos suportes e sensores de referencia e protótipos fixados para calibração

3.3.7. Equipamento de Aquisição de Dados

Para a construção do Equipamento de Aquisição de Dados foi desenvolvido um *Datalogger*, contendo um microcontrolador do tipo LPC 1768 FBD100, da marca ARM-CORTEX, uma memória para armazenamento de dados, um relógio de tempo real e uma saída de comunicação serial padrão USB e uma saída de rede TCP/IP, tendo a sua forma de composição representada pelo esquema da **Figura 25**.

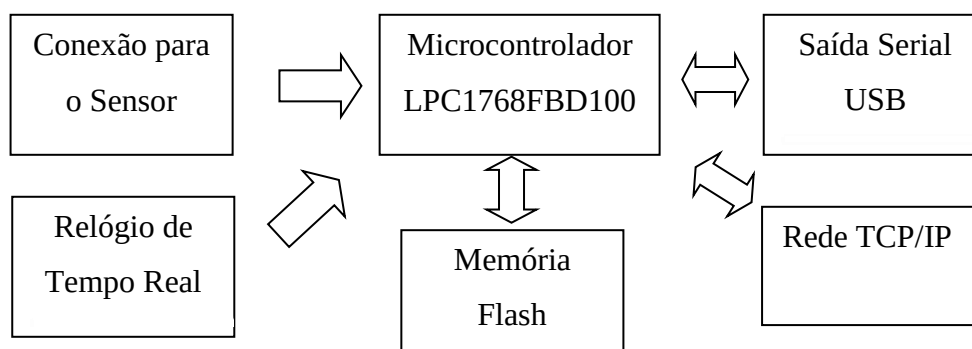


Figura 25 - Esquema dos principais elementos do *Datalogger*

Foi utilizado esse microcontrolador, por se tratar de um componente de baixo custo relativo, possuidor das características necessárias que atendem as necessidades do projeto. Ele possui 6 portas de conversão A/D até 12 bits de resolução. Possui portas que facilitam a implementação do protocolo de comunicação I²C que é compatível ao sistema de comunicação entre sensor de temperatura e umidade relativa do ar abordado neste trabalho. Internamente possui uma memória *flash* de 512KB capaz de armazenar o *firmware* sendo a memória de armazenamento um *pen-Drive* de 4 Gb com padrão de formatação FAT32. Possui ainda uma saída de comunicação padrão TTL.

Este módulo com seu microcontrolador, já possui um circuito integrado de relógio de tempo real, conhecido popularmente como circuito integrado de *real-time*, alimentado por uma pilha de 3V, modelo CR2032, gerenciado por um oscilador de cristal independente.

3.3.7.1. Firmware do Datalogger

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

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

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

Para a caracterização do funcionamento do *firmware* do Equipamento de Coleta de Dados foi utilizado o fluxograma, **Figura 26**, a fim de estabelecer as ordens e métodos de execução e também a caracterização dos componentes que compõe o *datalogger*, **Figura 27**.

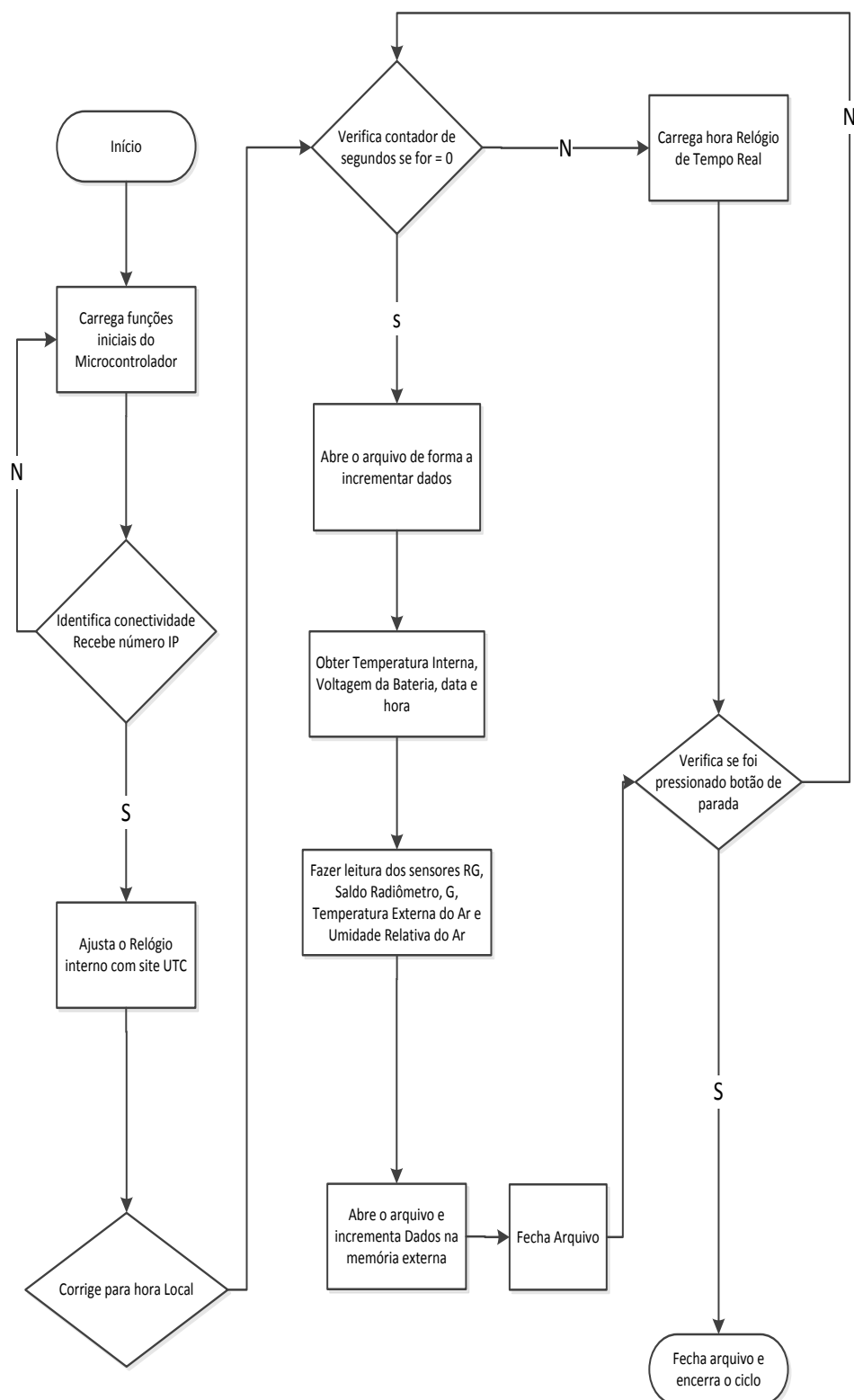


Figura 26 - Fluxograma esquemático dos processos necessários ao funcionamento do sistema

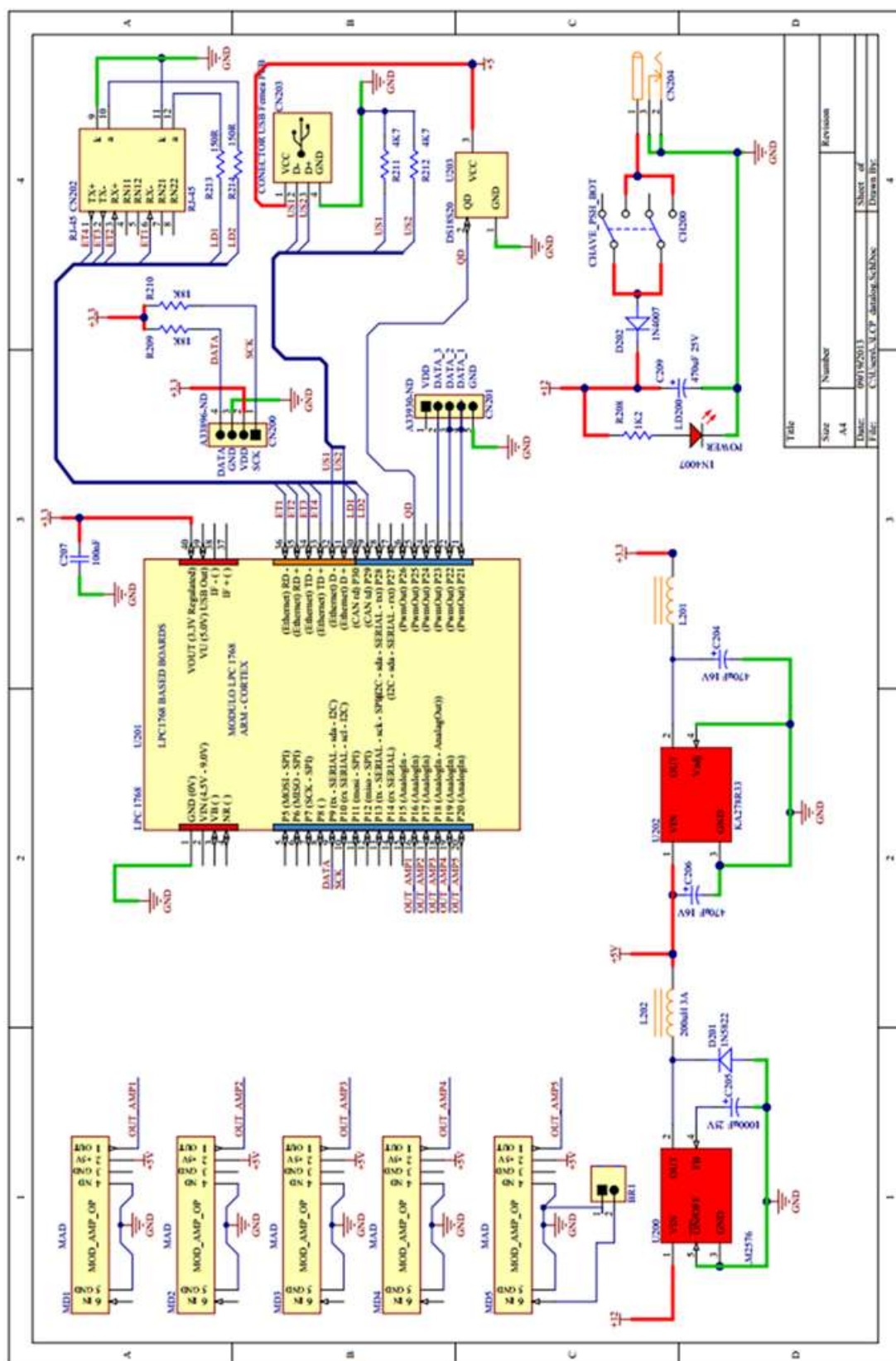


Figura 27 - Esquema elétrico do protótipo do *datalogger*

3.3.7.2. O compilador mbed

O *software* utilizado no desenvolvimento e compilação do *firmware* (Anexo A) foi o *mbed* Compiler, **Figura 28**. Trata-se de um compilador online previamente configurado, sob linguagem C/C++ IDE permitindo escrever programas, compilar e transferir para executar em seu microcontrolador mbed via cabo USB, não havendo necessidade de instalação de aplicativo microcomputador, nem tão pouco armazenar os programas desenvolvidos, pois estarão na base do próprio servidor onde se encontra o compilador. Podendo ser o código exportado e compilados em outras IDE compatíveis, sugeridas no próprio sitio <http://mbed.org>, porém o usuário deverá estar munido de um aplicativo de navegação em internet e conectado a rede internet.

Quanto ao microcomputador poderá ser qualquer equipamento que constitua condições de acesso via internet e uma saída padrão USB 2.0 ou maior, pois o módulo do protótipo exige tal interface para transferência de dados e alimentação do mesmo. Para ter acesso a plataforma de compilação, basta efetuar a aquisição do módulo e cadastrar-se no sitio e o usuário ser detentor de um endereço eletrônico (*e-mail*) válido.

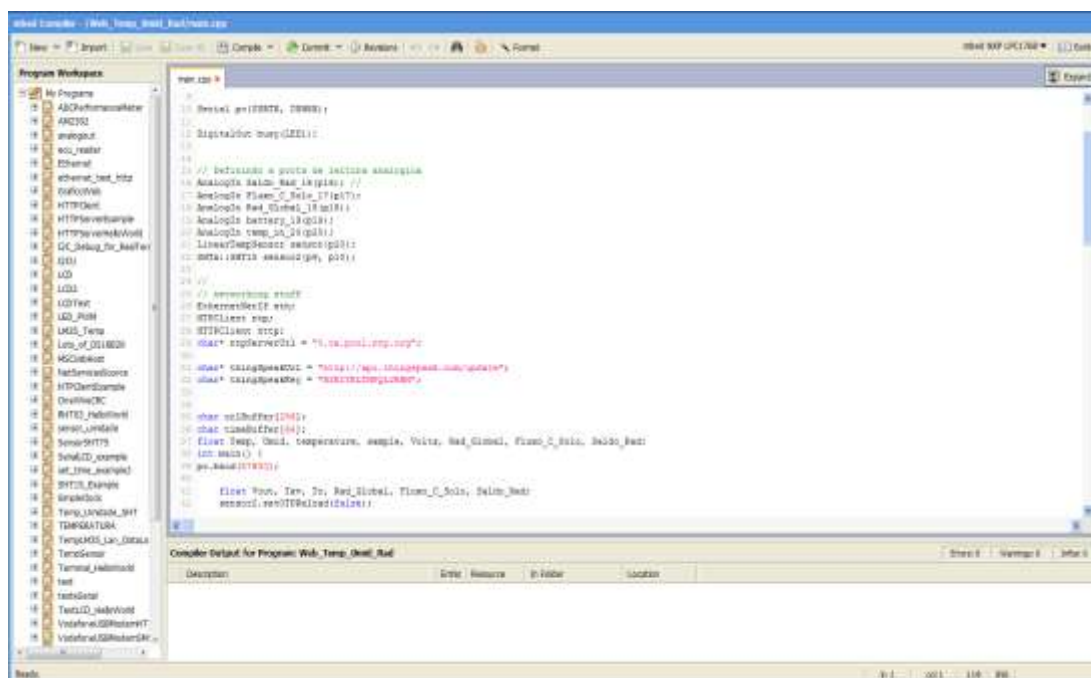


Figura 28. Interface do compilador MBED COMPILER

3.3.7.3. O Programa Sprint Layout

O *software* para desenvolvimento do *layout* do circuito impresso utilizado foi o *Sprint Layout*, **Figura 29**, da *Abacom Ingenieurgesellschaft Wittekindstr*, versão 5.0, que é executado na plataforma *Windows*, com no mínimo 32MB de memória RAM e 20GB de disco rígido. Trata-se de um programa para desenhar circuitos impresso e cujo desenho será transferido para placa de fenolite cobreado ou fibra de vidro cobreado a fim de criar os sistemas de ligações elétricas entre os componentes, resultando no layout na **Figura 30** e no equipamento da **Figura 31**.

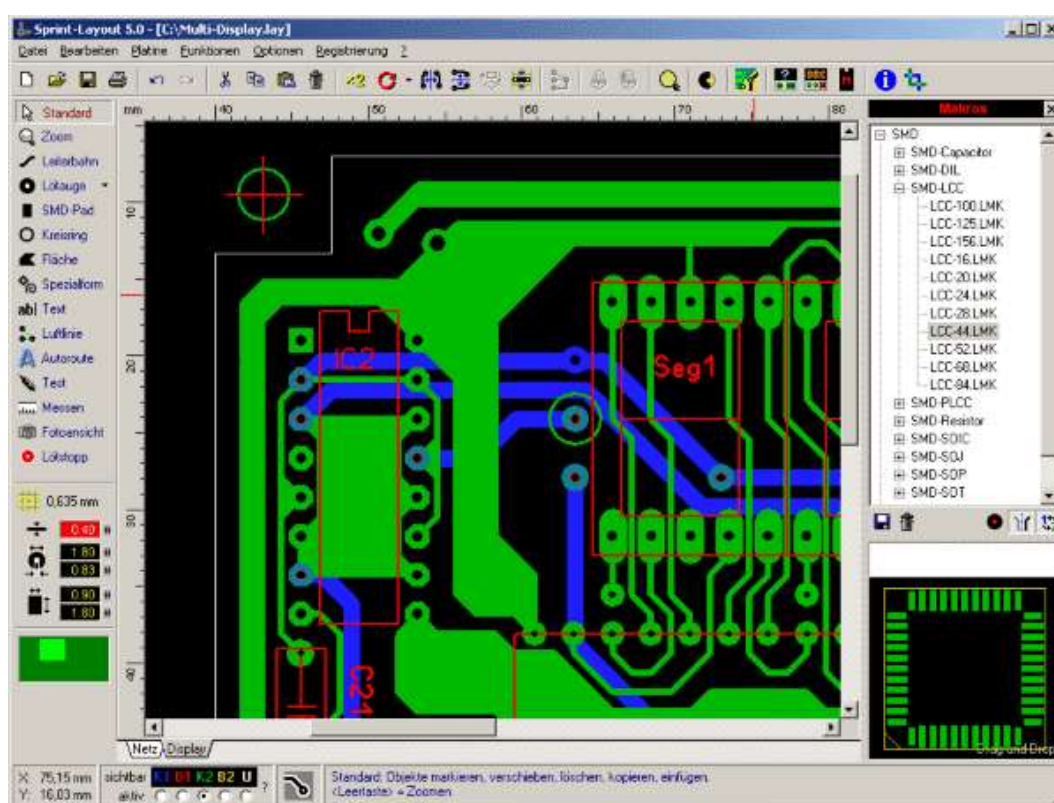


Figura 29. Interface do programa para desenvolvimento do circuito impresso

Representação da proposta de um layout da placa mãe (principal) e seus componentes, Figura 31.

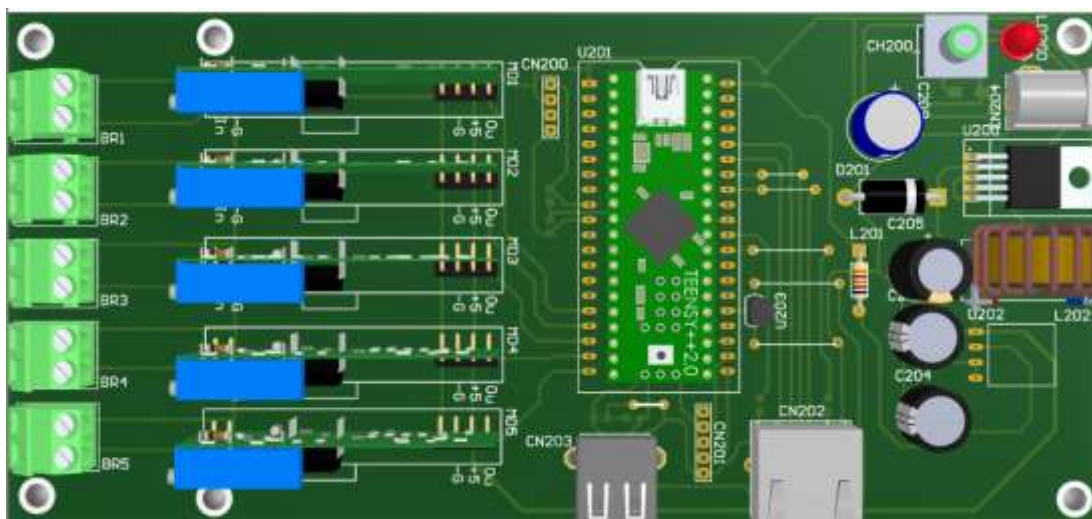


Figura 30- Layout da placa principal do Datalogger

Representação em perspectiva da placa mãe (principal) para melhor visualização de seus componentes, **Figura 31**.

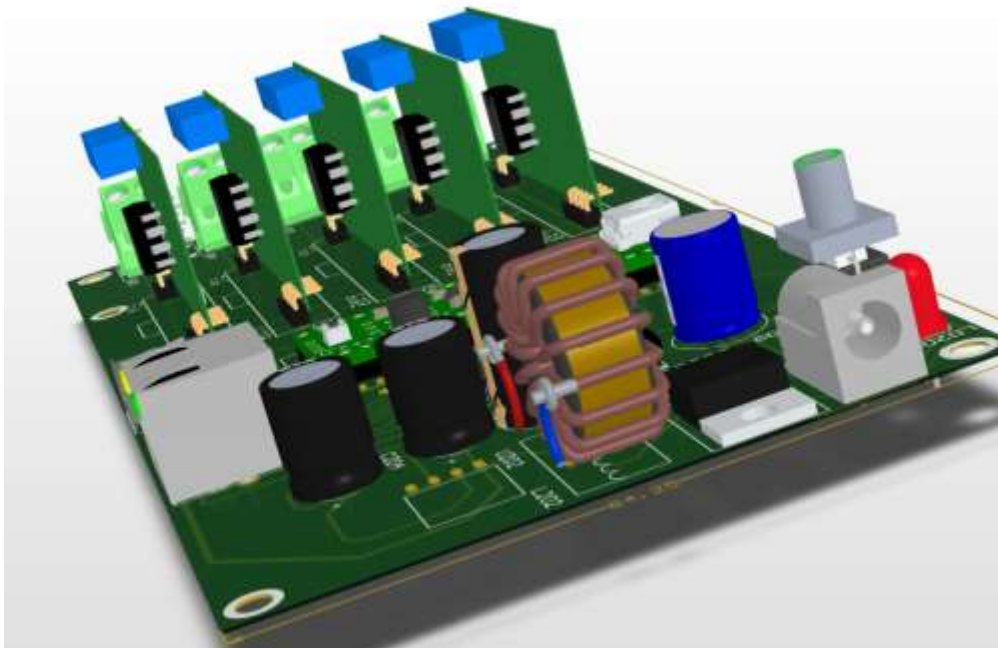


Figura 31 - Acomodações do protótipo no abrigo de PVC

3.3.7.4. Módulo controlador do datalogger e suas pinagens

Detalhamento do módulo utilizado no diagrama elétrico do *datalogger*,
Figura 32.

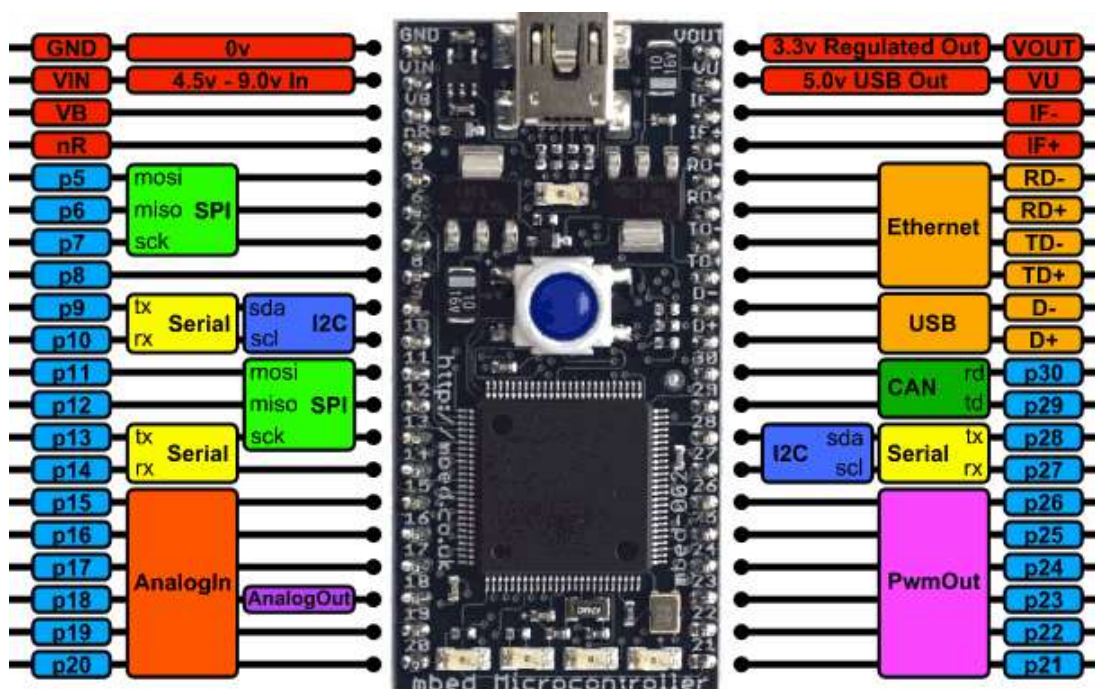


Figura 32- Conexões físicas do módulo do microcontrolador

3.3.7.5. Software utilizado na recuperação de dados

A leitura dos dados gravados em um *pen-drive* poderá ser feita com o auxílio de qualquer programa de leitura de texto, sendo previamente configurado no padrão de caracteres separados por vírgula (CSV), por exemplo, uma planilha eletrônica ou mesmo um programa livre (*freeware*), o programa Terminal v1.9b, que trata-se de um pequeno aplicativo executável ocupando aproximadamente 300KB de memória RAM sem a necessidade de ser instalado, caso utilize a plataforma Windows.

Programa de emulação de terminal pode ser usado para comunicação de diferentes dispositivos, como *modems*, roteadores, sistemas embarcados microcontrolados, telefones GSM entre outros por uma simples porta serial (COM). Utilizando um adaptador USB podemos monitorar a leitura via saída serial.

3.4. CALIBRAÇÃO DE SENSORES

A calibração dos sensores protótipos foi realizada nas mesmas condições, instalados lado a lado utilizando primeiramente com o *datalogger* de referência assim estabelecendo uma correlação entre cada um deles. Após os registro dos dados obtidos foram estabelecidos os coeficientes de correlação em seguida os fatores de correção para a calibragem.

A calibração dos sensores de radiação global (piranometro) protótipos foram realizados em iguais condições e exposição, dispostos lado a lado mantendo-se a mesma distancia entre o sensor protótipo e o sensor de referência, sendo os sinais registrados em um *datalogger* de referência modelo CR1000, **Figura 33**.



Figura 33 - Sensores fixados na plataforma para calibração

O saldo radiômetro protótipo e o saldo radiômetro de referência, fixados através de suas respectivas hastes de alumínio, foram afixadas a uma placa base onde os sensores posicionado a três metros de altura do solo e ajustadas lateralmente ao mastro com os sensores lado a lado ditantes a 10,0 cm entre eles, conforme mostra as **Figura 33** e **Figura 34**, sendo os sinais registrados no mesmo *datalogger* de referência CR1000.



Figura 34- Vista da base com os equipamentos instalados em campo – Fazenda Miranda

As unidade de fluxo de calor foram dispostas em uma caixa contendo areia em sua base e os sensores protótipos posicionados ao redor de um sensor de referência e encobertos por uma camada de areia com 1,0 cm de espessura e expostas em um ambiente ventilado a céu aberto. As leituras foram registradas através de um *datalogger* de referência, do tipo CR1000, **Figura 35**.



Figura 35- Calibração dos sensores de fluxo de calor (1, 2, 3, 4 e 5) ao centro o sensor de referencia (REF.)

A calibração dos sensores de umidade relativa e temperatura do ar protótipo foram instaladas na unidade de leitura e armazenamento de dados automatizados, *datalogger* protótipo, e o modulo sensor composto, possui uma caracterização própria de comunicação do tipo I2C, através de uma biblioteca em C que deve ser incorporada ao *firmware* do microcontrolador *datalogger*, havendo a necessidade deste pré-requisito para decodificação e conversão dos dados a serem lidos deste componente SHT75, conseqüentemente a necessidade de um sincronismo entre os *dataloggers* protótipo e o de referência.

Esta necessidade é um dos fatores de restrição pois o código do sistema comercial é proprietário não permitindo a implementação de tal biblioteca. Adequando esta restrição, foi disposto os sensores protótipo e sensores de temperatura e umidade relativa do ar de referência nas mesmas condições em uma área externa sob abrigos e distancia de 20,0 cm entre os sensores duplos e estes conjuntos de sensores a uma altura de 6,60 m paralelamente um ao lado do outro com seus coeficientes de calibração fornecidos pelos fabricantes, **Figura 36**.

A temperatura e umidade relativa do ar do protótipo foram calibradas utilizando um termohigrômetro, modelo HMP45C, da marca Campbell Sci, Inc., USA, como referencia. A leitura e armazenamento dos sinais fornecidos pelos sensores protótipos foram realizados pelo *datalogger* do circuito desenvolvido, e os sensores de referência foram realizados por um *datalogger*, modelo CR1000, da marca Campbell Scientific, Inc., USA.



Figura 36- Sensor protótipo à esquerda sensor de referência à direita

A determinação do coeficiente de calibração do termohigrômetro protótipo e o de referência foram realizados por regressão linear simples, sendo no eixo das abscissas o sinal dos sensores protótipos e nas ordenadas, o sinal dos sensores de referência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados obtidos através das medições realizadas pelo *datalogger* de referência sob a ótica da temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, fluxo de calor no solo e saldo radiômetro. Sendo que os resultados do *datalogger* protótipo se encontra no processo de depuração, neste momento os registros apenas estão relacionados ao sensor de umidade do ar e temperatura do ar devido o sensor utilizado exigir uma biblioteca em C para seu acoplamento e ajuste de protocolo de comunicação em que o *datalogger* CR1000, por se tratar de uma tecnologia proprietária não permite fazer, porém os registros obtidos são significativamente próximos ao modelo de referência como demonstrados nos resultados da calibração.

4.1. TEMPERATURA E UMIDADE DO AR

Verifica-se pelas **Figura 37** e **Figura 38** que os valores da temperatura do ar e umidade relativa do ar medida pelo sensor protótipo foram muito próximos do sensor de referência.

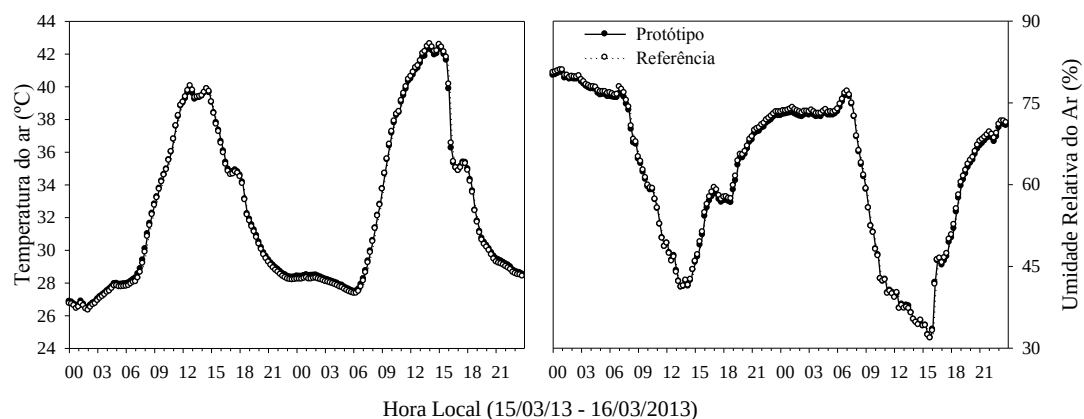


Figura 37 – Variação horária da temperatura e umidade relativa do ar medidas pelo sensor protótipo e de referência

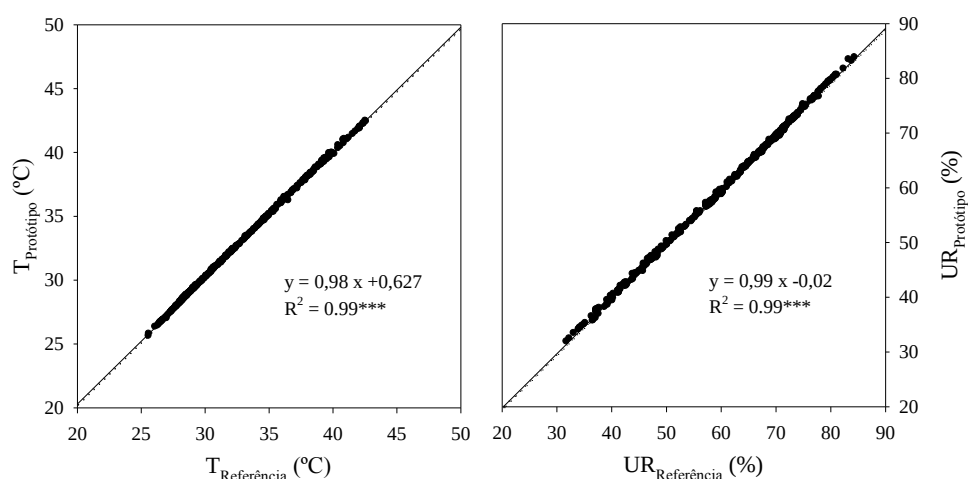


Figura 38 – Relação entre a temperatura e umidade relativa do ar medidas pelo sensor protótipo e o de referência. *** significativo $p < 0,001$

Observa-se que o sensor protótipo tem um ajuste satisfatório em relação ao sensor de referência, pois o coeficiente linear aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação (R^2) explica 99,9% dos dados observados e o restante desta variação é devido a outros fatores, e é chamado de erro experimental, **Figura 37** e Tabela 1. Este coeficiente de determinação é definido como o quadrado do coeficiente de correlação dos dados. Em uma regressão linear, como utilizado na análise de dados, este coeficiente representa a proporção da variação total (ou variância) que pode ser explicada pela relação linear existente entre os dados obtidos pelo sensor protótipo e o sensor de referência. Nas Tabelas 1,

2, 3 e 4 são apresentados os modelos ajustados/parametrizados por regressão não linear incluindo as constantes para cada região. As escolhas dos modelos para radiação global, fluxo de calor no solo, saldo radiômetro, temperatura e umidade relativa do ar baseou-se nas estatísticas usualmente empregadas (EMA, EMQ, r , R^2 , d). Os resultados dos modelos parametrizados/ ajustados neste trabalho foram analisados em função do coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e erro médio quadrático (EQM), (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).

Tabela 1. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre a temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) medidas pelo sensor de referência (abscissa) e pelo protótipo (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQU). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).

Protótipos	a	b	r	d	EMA	REMQU
T	0,984	0,627	1,000	1,000	0,131	0,143
UR	0,991	-0,023	1,000	0,999	0,621	0,683

4.2. RADIAÇÃO SOLAR

Verifica-se pela **Figura 39** que os valores da radiação direta medida pelo sensor protótipo foram muito próximos do sensor de referência. Observa-se que o sensor protótipo tem um ajuste satisfatório em relação ao sensor de referência, pois o coeficiente linear aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação (R^2) explica 99,9% dos dados observados e o restante desta variação é devido a outros fatores, e é chamado de erro experimental, **Figura 40** e Tabela 2.

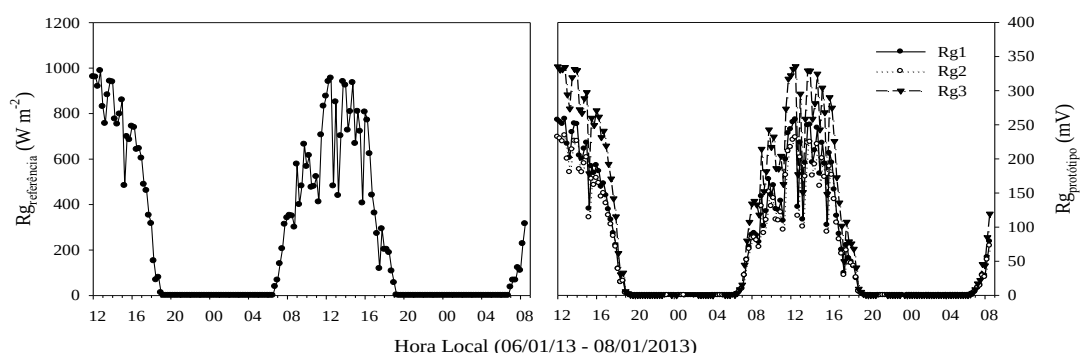


Figura 39. Variação horária da radiação solar direta medidas pelo sensor protótipo e de referência

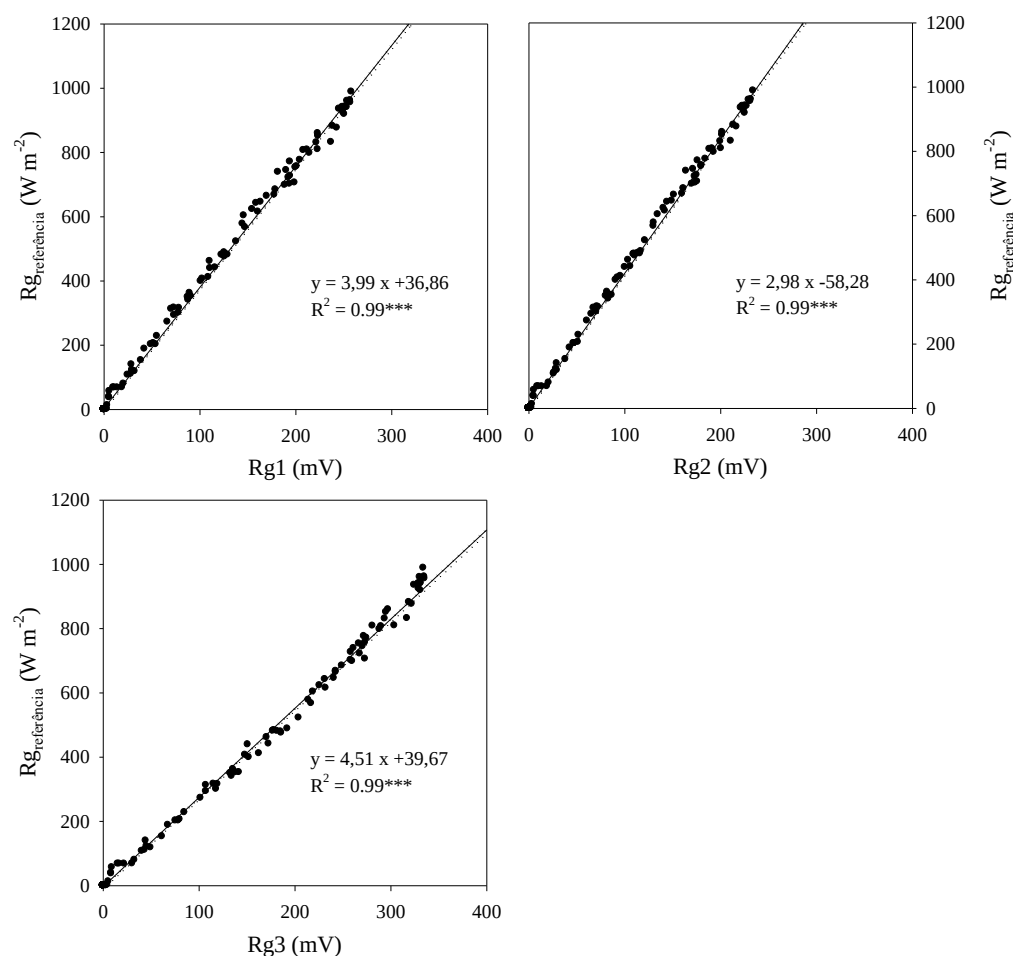


Figura 40 - Relação entre a radiação global direta medidas pelo sensor protótipo e o de referência

Tabela 2. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre a radiação solar incidente medida pelo sensor de referência (abscissa) e pelos protótipos (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).

Protótipos	a	b	r	d	EMA	REMQ
Rg1	0,989	7,684	0,994	0,997	15,473	20,395
Rg2	0,992	5,794	0,996	0,998	13,697	17,710
Rg3	0,988	8,387	0,994	0,997	16,820	21,308

4.3. FLUXO DE CALOR

Verifica-se pela **Figura 41** que os valores do fluxo de calor medido pelo sensor protótipo foram muito próximos do sensor de referência.

Observa-se que o sensor protótipo tem um ajuste satisfatório em relação ao sensor de referência, pois o coeficiente linear aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação (R^2) explica $G1 = 96\%$, $G2 = 95\%$, $G3 = 96\%$ e $G4, G5 = 99\%$ dos dados observados (**Figura 42** e Tabela 3) e o restante desta variação é devido a outros fatores, e é chamado de erro experimental.

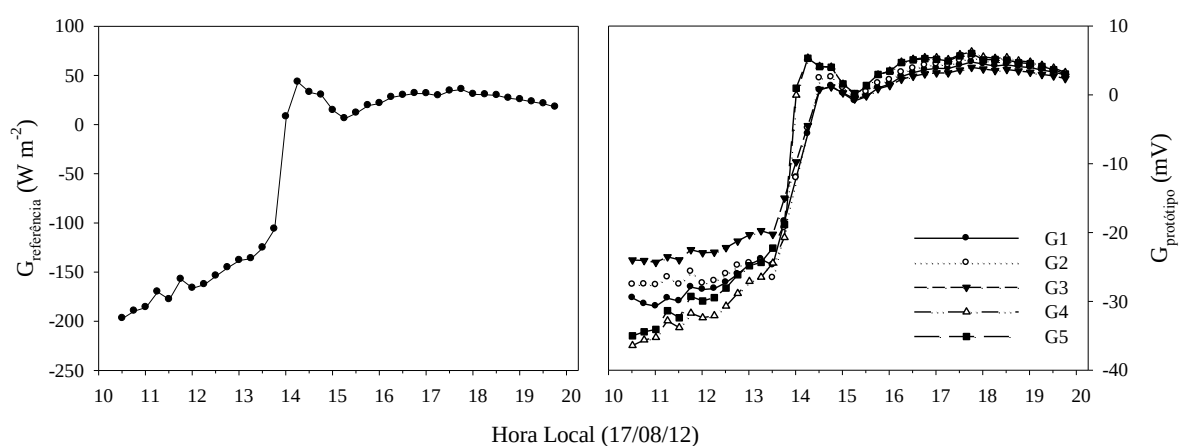


Figura 41– Variação horária do fluxo de calor no solo medidas pelo sensor protótipo

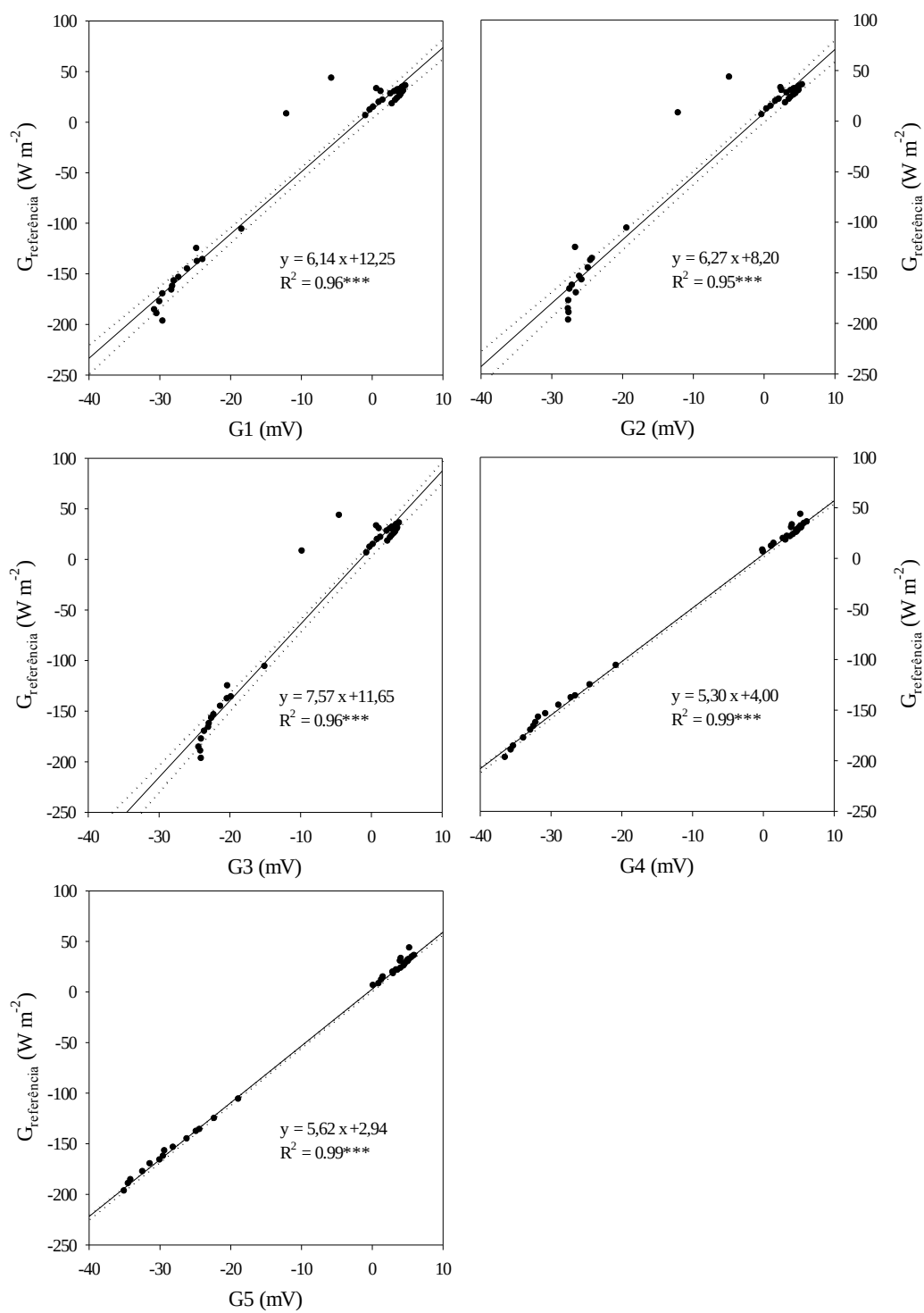


Figura 42 – Relação entre o fluxo de calor no solo medido pelo sensor protótipo e o de referência

Tabela 3. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre o fluxo de calor no solo medido pelo sensor de referência (abscissa) e pelos protótipos (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005).

Protótipos	a	b	r	d	EMA	REMQ
G1	0,961	-1,634	0,980	0,990	9,763	17,745
G2	0,953	-2,001	0,976	0,988	19,635	11,341
G3	0,960	-1,670	0,980	0,990	10,166	17,938
G4	0,998	-0,070	0,999	1,000	2,817	3,663
G5	0,999	-0,043	1,000	1,000	2,147	2,869

4.4. SALDO RADIÔMETRO

Verifica-se pela **Figura 43** e **Figura 44** e Tabela 3, que os valores do saldo de radiação medido pelo sensor protótipo foram muito próximos do sensor de referência.

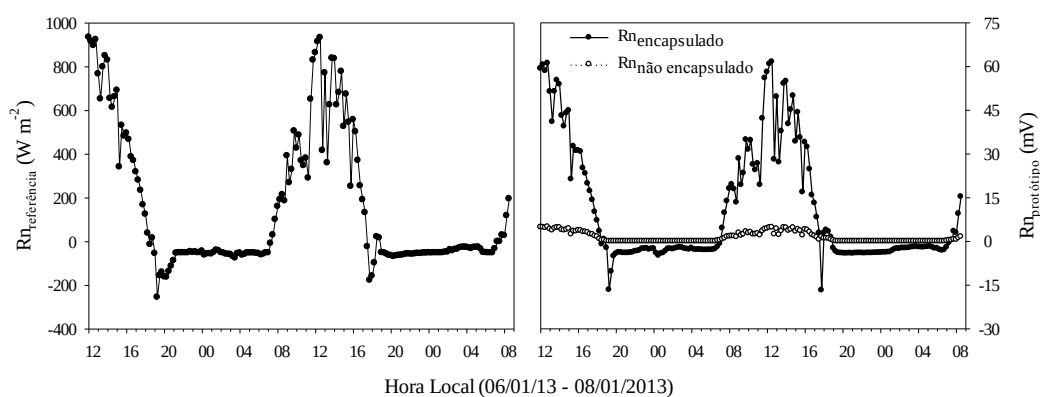


Figura 43– Variação horária do saldo de radiação medidas pelo sensor protótipo e o de referência

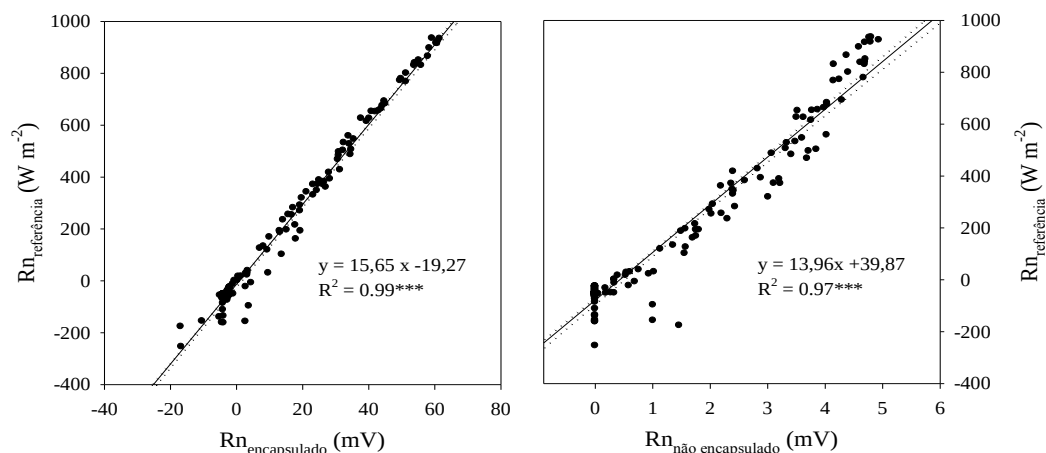


Figura 44– Relação entre o saldo de radiação pelo sensor protótipo e o de referência

Tabela 4. Coeficiente angular (a) e linear (b) da regressão entre o saldo radiação medida pelo sensor de referência (abscissa) e pelos protótipos (ordenada), coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmott (d), erro médio absoluto (EMA) e raiz do erro médio quadrático (REMQ). (WILLMOTT et al., 1985; WILLMOTT e MATSSURA, 2005)

Protótipos	a	b	r	d	EMA	REMQ
Encapsulado	0,987	7,304	0,993	0,997	19,646	25,840
Não Encapsulado	0,971	15,992	0,986	0,993	32,390	38,237

Observa-se que o sensor protótipo tem um ajuste satisfatório em relação ao sensor de referência, pois o coeficiente linear aproxima de zero, o coeficiente angular se aproxima de 1 e o coeficiente de determinação (R^2) explica 99% para o saldo radiômetro encapsulado e explica 97% para o não encapsulado dados observados (**Figura 44** e Tabela 3) e o restante desta variação é devido a outros fatores, e é chamado de erro experimental.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pôde se concluir que:

- Os sensores protótipos (alternativos) desenvolvidos nesta pesquisa apresentaram durante a análise dos resultados, valores confiáveis e próximos aos dos sensores de referência;
- Os sensores protótipos obtiveram coeficiente de determinação (R^2), que explica mais de 95% dos dados medidos em comparação com o de referência;
- O sistema de aquisição de dados proporcionou condições de ampliação de instalações de novos acessórios, durante a coleta de dados não há necessidade do uso de um microcomputador no local;
- O sistema de armazenamento de dados automatizado foi utilizado em campo e sua resposta foi semelhante aos registros obtidos com o de referência;
- Os protótipos desenvolvidos neste trabalho poderão 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.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ARAÚJO, R. L. C.; SILVA, R. M.; CARVALHO, J. S.; MONTEIRO, I. B. Influência ambiental sobre a estrutura geotermal rasa. *Revista Brasileira de Geofísica*. V. 22(1), p. 33-44, 2004.

ARTAXO, P.; GATTI, L.V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, L. L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROPCÓPIO, A. S.; ROZZO, L. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera Amazônica. *Acta Amazônica*, v.35, n.2, p.85-196, 2005.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian Forest. *International Journal of Climatology*, v.13, p.783-796, 1993.

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

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

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

BUCHAN, G. D., SMITH, K. A., MULLINS, C. E. Soil temperature regime. *Soil analysis: physical methods*. Marcel Dekker, New York, 551-612, 1991.

BUTERA, F. M. Architettura e ambiente: manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici. Milano: Etaslibri, 1995.

Climete Research, v.30, p.79-92, 2005.

CULF, A. D.; ESTEVES, J. L.; MARQUES FILHO, A. O.; ROCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazônia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Eds.) Amazonian Deforestation and Climate. New York: J. M. Wiley and Sons, 1996, p.175-192.

CUNHA, G. R.; PAULA, J. R. F.; BERGAMASCH, H.; SAIBRO, J. C.; BERLATO, M. A. Balanço de radiação em alfafa. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.1, n.1, p.1-10, 1993.

DICKINSON, R. E., HENDERSON-SELLERS, A., ROSENZWEIG, C. & SELLERS, P.J. Evapotranspiration models with canopy resistance for use in climate models, a review. Agricultural & Forest Meteorology, 54, 373–388, 1991.

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

EFE, S. I.; ADOGBEJI, O. B. The assessment of the use of information and communication technology (ICT) in data storage and information dissemination in Nigerian meteorological stations. Electronic Library, v.24, n.2, p.237- 242, 2006.

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

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. Parte da tese de doutorado do primeiro autor, em Energia na Agricultura, apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), Botucatu (SP) 2001.

GAO, Z., HORTON, R., WANG L., LIU, H., WEN, J. An improved force-restore method for soil temperature prediction. European Journal of Soil Science, 59, 972–981, 2008.

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

GEIGER, R. Manual de Micrometeorologia. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980.

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

HAMZA, V. M., MUÑOZ, M. Heat flow map of South America. Geothermics 25 (6), 599–646, 1996.

HAMZA, V. M.; DIAS, F. J. S.; GOMES, A. J. L.; TERCEROS, Z. G. D. Numerical and functional representations of regional heat flow in South America.. Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 152, iss. 4, p. 223-256, 2005.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. Instrumentação, Eletrônica Moderna e

Técnicas de Medição. Rio de Janeiro RJ, 1994. 324p.

KESTER, W. Power and Thermal Management Design Techniques. Seção 2. Analog Device. 2004.

KIRKHAM, D., POWERS, W. L. Advanced Soil Physics. Wiley, New York, 534 p.,1972.

LLSAT, M. C.; SNYDER, R. L. Data error effects on net radiation and evapotranspiration estimation. Agricultural and Forest Meteorology, v.91, p.2009-221, 1998.

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

NOBRE, C. A.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. Journal of Climate, 4: 957-988, 1991.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R. Estimativas de evapotranspiração e as consequências devido aos erros na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.4, n.3, p.343-347, 2000.

PALMIERI, A. M. Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. 2009.

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

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

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

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO Jr., M. J.; GALLO, P. B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana ‘prata anã’. Bragantia, v.64, n.3, p.485-497, 2005.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações – Barueri, SP: Manole. p. 50, 2004.

RINHEL, M. F. R. - Projeto de uma estação meteorológica com transmissão de dados sem fio. Brasil. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Trabalho de Conclusão de Curso. 2011.

SCHNEIDER, F. M. Modificações na temperatura do solo causadas por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 37-42, 1993.

SENSIRION, A. G. SHT 75 Datasheet. Disponível em www.sensiron.com, acessado em janeiro de 2005.

SENTELHAS, P. C.; NASCIMENTO, A. L. C. Variação sazonal da relação entre o saldo de radiação e a irradiância solar global. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.18, n.1, p.71-77, 2003.

SILVA, J. G.; Monitoramento e Controle de Umidade e Temperatura em Secadores de Massa Alimentícias. 2009. 67f. Dissertação (Mestrado em Análise e Controle de Processos Químicos) Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul SP, 2009.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, n.1, p.1-15, 1997.

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

SUGAWARA, M. T. Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática. Tese doutorado Universidade Federal de Viçosa. 2003

TANNER, C. B.; LEMON, E. R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. *Agronomy Journal*, v.54, n.3, p.207-212, 1962.

TOULOUKIAN, Y. S., POWELL, R. W.; YO, C. Y. e NICOLAOU, M. C. *Thermophysical Properties of Matter*, vol. 10, IFI/PLENUM, 1973.

VAN WIJK, W. R. (ed.). *Physics of plant environment*. Amsterdam: North Holland Publishing Company. 1963, 382p, 1966.

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

VOURLITIS, G. L.; OECHEL, W. C. Eddy covariance measurements of CO₂ and energy fluxes of an alaskan tussock tundra ecosystem. *Ecology (Durham)*, v. 80, p. 686-701, 1999.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO Jr., J. H. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian tropical transitional forest (cerradão). *Functional Ecology*, v. 15, p. 388-395, 2001.

VOURLITIS, G. L.; OECHEL, W. C. Landscape-scale CO₂, H₂O vapor, and energy flux of moist-wet coastal tundra ecosystems over two growing-seasons. *Journal Of Ecology*, v. 85, p. 575-590, 1997.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K.

M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.

WILLMOTT, C. J.; MATSURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance.

6.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

AVISSAR, R.; A statistical-dynamical approach to parameterize subgrid-scale landsurface heterogeneity in climate models. *Surf Geophysical*, 12, 155-178, 1991.
AYODE, J. O.; Introduction of climatology for the tropics. Bertrand Brasil, 5ª Ed.332p. 1998.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 412 p, 1999.

GRACE, J.- Modelling energy flows and surface temperatures over forest and savanna, pages 551-568 in Furley, P. A., J. Proctor, and J. A. Ratter (eds), *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*, Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. 1992.

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

NERANDI, L. C.; MENDES, L. B.; MOTA, J. K. M.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Avaliação de Instrumentos Agrometeorológicos Alternativos para o Monitoramento da Ambiência em Galpões Avícolas. *Revista Engenharia na Agricultura*. Viçosa. V. 19, nº 2. 2011.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N.A.; ESCOBEDO, J.F.; OLIVEIRA, A.; Evaluation of the solar energy potential at surface in São Paulo, SP, Brazil, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.6, n.1, p.99-104, 1998.

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

SOUZA, J.L.; ESCOBEDO, J.F.; TORNERO, M.T.T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.34, n.10, p.1763-1774, 1999.

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

ANEXO

CÓDIGO DO FIRMWARE

```
#include "mbed.h"
#include "LinearTempSensor.h"
#include "EthernetNetIf.h"
#include "NTPClient.h"
#include "HTTPClient.h"
#include "SHTx/sht15.hpp"

Serial pc(USBTX, USBRX);

DigitalOut busy(LED1);

// Definindo a porta de leitura analogica
AnalogIn Saldo_Rad_16(p16); //
AnalogIn Fluxo_C_Solo_17(p17);
AnalogIn Rad_Global_18(p18);
AnalogIn battery_19(p19);
AnalogIn temp_in_20(p20);
LinearTempSensor sensor(p20);
SHTx::SHT15 sensor2(p9, p10);

//
// networking stuff
EthernetNetIf eth;
NTPClient ntp;
HTTPClient http;
char* ntpServerUrl = "0.ca.pool.ntp.org";

char* thingSpeakUrl = "http://api.thingspeak.com/update";
```

```

char* thingSpeakKey = "B3EIYKLTMPQLJRBM";

char urlBuffer[256];
char timeBuffer[64];
float Temp, Umid, temperature, sample, Volts, Rad_Global, Fluxo_C_Solo, Saldo_Rad;
int main() {
pc.baud(57600);

float Vout, Tav, To, Rad_Global, Fluxo_C_Solo, Saldo_Rad;
sensor2.setOTPREload(false);
sensor2.setResolution(true);
const float BAT_MUL = 13.26;

printf("Conectar a Rede \r\n");
EthernetErr ethErr = eth.setup();
if(ethErr)
{

    printf("Reconectando \r\n", ethErr);
    return -1;
}

printf("Ethernet setup OK \r\n");
// get time from ntp
time_t ctTime;
Host server(IpAddr(), 123, ntpServerUrl);

ntp.setTime(server);

while(1)
{

```

```

Vout = sensor.Sense();      // Sample data (read sensor)
Tav = sensor.GetAverageTemp(); // Calculate average temperature from N samples
To = sensor.GetLatestTemp(); // Calculate temperature from the latest sample
Fluxo_C_Solo = Fluxo_C_Solo_17.read();
Rad_Global = Rad_Global_18.read();
Saldo_Rad = Saldo_Rad_16.read();
sample = battery_19.read();
//Volts = (3.3*sample-1.5);

// update data herea
ctTime = time(NULL);
busy = true;
sensor2.update();
busy = false;

pc.printf("Temp Interna: %4.1f\r\n", Tav);
pc.printf("VBat.....: %4.3f, ADC_P19: %4.3f, Vadc: %4.3f\r\n", sample*BAT_MUL, sample,
3.3*sample);

pc.printf("Vout:%f Tav:%f To:%f\r\n", Vout, Tav, To); // Debug print Fluxo_C_Solo = 0.0512 *
((3300 * porta18.read())- 20.5128)
pc.printf("Rad. Global.....: ADC_P18: %4.3f, %6.4f\r\n", Rad_Global,(Rad_Global * 3.3) );

// Temp em celcius
sensor2.setScale(false);
pc.printf("Temperature [ %3.2f C ]\r\n", sensor2.getTemperature());

// Relative Humidity
pc.printf("Humdity [ %3.2f %% ]\r\n", sensor2.getHumidity());

pc.printf("Fluxo de Calor no Solo: ADC_P17: %4.3f, %6.4f\r\n", Fluxo_C_Solo,(Fluxo_C_Solo *

```

```

3.3) );
pc.printf("Saldo Radiometro.....: ADC_P16: %4.3f, %6.4f\r\n", Saldo_Rad,(Saldo_Rad *3.3) );
timeBuffer[0] = 0;
strftime(timeBuffer, 64, "%Y-%m-%d %H:%M:%S", localtime(&ctTime));

// format url here
urlBuffer[0] = 0;
sprintf(urlBuffer,
"%s?key=%s&field1=%s&field2=%f&field3=%f&field4=%f&field5=%f&field6=%f&field7=%f&field8
=%f",
    thingSpeakUrl,    thingSpeakKey,    timeBuffer,    Tav,    sensor2.getTemperature(),
sensor2.getHumidity(),
    sample*BAT_MUL, Rad_Global * 3.3, Fluxo_C_Solo * 3.3, Saldo_Rad * 3.3);
HTTPText resp;
HTTPResult res = http.get(urlBuffer, &resp);
if (res == HTTP_OK)
{
    pc.printf("Result :\"%s\"\r\n", resp.gets());
}
else
{
    pc.printf("Error %d\r\n", res);
}
wait(16); // limited by ThingSpeak's API
}

}

```