

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

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA
MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS
MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO O
PROGRAMA EPICS**

João Basso Marques

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Nogueira

Coorientador: Prof. Dr. Paulo H. Zanella de Arruda

Cuiabá, Setembro 2016

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

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA
MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS
MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO O
PROGRAMA EPICS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso para a obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.

João Basso Marques

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Nogueira

Coorientador: Prof. Dr. Paulo H. Zanella de Arruda

Cuiabá, Setembro 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B322d Basso Marques, João.
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO E
AQUISIÇÃO DE DADOS MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO O PROGRAMA
EPICS / João Basso Marques. -- 2016
69 f. ; 30 cm.

Orientador: José de Souza Nogueira.
Co-orientador: Paulo Henrique Zanella de Arruda.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2016.
Inclui bibliografia.

1. raspberry pi. 2. instrumentação. 3. EPICS. 4. sensores alternativos. 5.
micrometeorologia. 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.

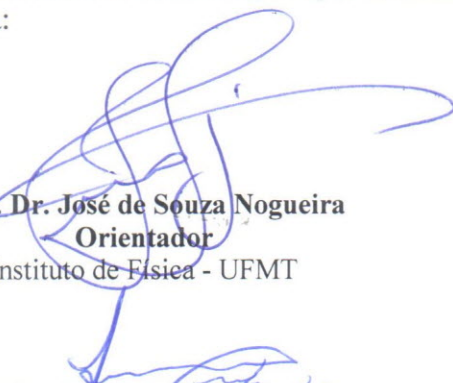
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

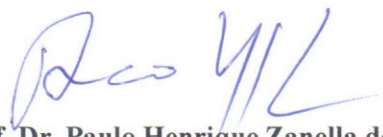
**TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA
MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS
MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO O PROGRAMA EPICS**

AUTOR: JOÃO BASSO MARQUES

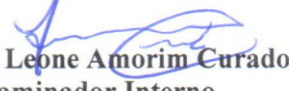
Tese de Doutorado defendida e aprovada em 19 de setembro de 2016, pela comissão julgadora:



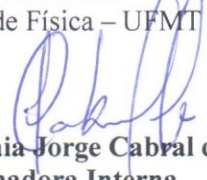
Prof. Dr. José de Souza Nogueira
Orientador
Instituto de Física - UFMT



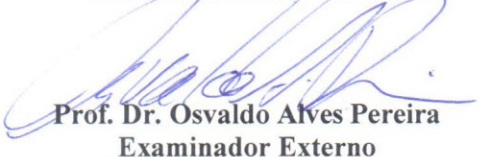
Prof. Dr. Paulo Henrique Zanella de Arruda
Coorientador
Instituto de Física - UFMT



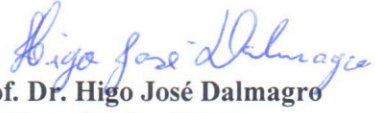
Prof. Dr. Leone Amorim Curado
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT



Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo
Examinadora Interna
Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC/Cuiabá



Prof. Dr. Higo José Dalmagro
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC/Cuiabá

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para que eu pudesse realizar este trabalho. Agradeço à todas elas.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pela confiança, motivação e conversas esclarecedoras, pelo apoio nas horas difíceis do percurso de pesquisa e toda orientação. Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Henrique Zanella de Arruda, por toda a ajuda no decorrer do trabalho desta tese.

Ao meu grande amigo Jeferson de Oliveira, pelo convívio, caminhadas e constantes renovação de motivação e perseverança.

Ao amigo Moisés Parisuanã Ito, pelas intermináveis contribuições em programação Python, e etc.

Aos amigos Leandro Ibiapina Beviláqua e Carine Piacentini, Rafael da Silva Palácios e Patrick Siqueira pela colaboração.

Aos amigos do Grupo de instrumentação Lúcio Gonçalves Barbosa de Oliveira e Leone F. Curado pelas contribuições, trabalho e viagens de campo, no pantanal.

Agradeço aos técnicos do PPGFA, Soilce Carrilho, Cesário e Geraldo Neves pela amizade e paciência em resolver nossa burocracia diária.

Agradecimentos especiais para meu pai, José Francisco Marques, a minha Mãe Antonia Basso Marques¹ e Irmãos: Evandro Marques, Lindaura Marques, Lourdes Basso Marques, Edson Marques, Edvaldo Marques, Lindamir Ap. Basso Marques, Luciana Marques Aragão, Elias Basso Marques², Maria José Basso Marques e a caçula Fernanda Basso Marques, que sempre estiveram ao meu lado, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço a **CAPES** pelo apoio financeiro.

Agradeço ao Projeto “Mudanças climáticas na Amazônia: reflexo no Pantanal Mato-grossense” Processo CNPq n° 457824/2013-1, aprovado na Chamada N° 68/2013 MCTI/CNPq/FNDCT - Ação Transversal - Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA.

¹Memória

²Memória

Aos meus Pais José Francisco e Antônia.

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos Específicos	16
2	Revisão Bibliográfica	17
2.1	O Cerrado Brasileiro	17
2.2	O Pantanal Brasileiro	20
2.3	Razão de Bowen	21
2.4	Eddy Covariance	23
2.5	EPICS	24
2.5.1	O ambiente de desenvolvimento EPICS: base EPICS, extensão e módulo EPICS	27
2.6	Registradores de Dados	29
2.6.1	Tipos de medidas	30
2.6.2	Quantidade de canais	30
2.6.3	Dataloggers tradicionais e baseados em PC	30
2.7	A Placa Raspberry pi (RPI)	32
2.7.1	Sistemas Operacionais	32
3	Materiais e Métodos	34
3.1	Localização	34
3.2	Instalação do SO no Raspberry Pi	36
3.3	Instalação do EPICS	37
3.4	Instalação do PyEPICS	39
3.5	Ambiente de Controle	40
3.6	Componentes Eletrônicos	40
3.6.1	Conversores Analógico Digital (ADC)	41
3.6.2	Placa Termoelétrica	42
3.6.3	Sensor de Temperatura e Umidade	43

3.6.4	Termômetro Digital	43
3.7	Desenvolvimento de Sensores Alternativos	44
4	Resultados e Discussão	50
4.1	Datalogger	50
4.2	Abrigos e Termohigrômetros Alternativos	53
4.3	Termoflux	56
5	Conclusões	61
6	Trabalhos Futuros	62
7	Referências Bibliográficas	63

Lista de Figuras

1	Mada do Brasil com destaque nos limites da ocorrência do Cerrado.	18
2	Representação das fisionomias de vegetação mais comuns no Cerrado (Ribeiro et al., 2008)	19
3	Mapa do Brasil com destaque nos limites da ocorrência do Pantanal.	21
4	Sistema de Covariância de Vórtices Turbulentos, instalados na torre do pantanal 2.2.	24
5	Exemplo de uma tela de controle utilizando o EPICS	25
6	Logo do projeto EPICS	26
7	Diagrama da arquitetura de funcionamento do EPICS. (Dalesio et al., 1991)	28
8	Exemplos de dataloggers tradicionais da marca Campbell Scientific.	31
9	Placa Raspberry pi B+, utilizada neste trabalho.	32
10	Especificações dos modelos A e B do Raspberry Pi, os testes descritos neste trabalho utilizou o modelo B.	33
11	A figura mostra um mapa com a localização das duas torres do PGFA, torre da Fazenda Miranda(Cerrado) e torre da Baia das Pedras(Pantanal) .	35
12	A figura mostra um exemplo da tela inicial do sistema raspbian em execução.	36
13	A primeira figura corresponde a tela do programa CSS e a segunda ao exemplo de ambiente de controle integrado com o epics.	40
14	Desenho esquemático do ADC <i>MCP3424</i> ⁵ e o esquema de ligação eletrônica.	41
15	montagem do protótipo dos ADC's e conectores para testes em bancada, já conectado ao Raspberry Pi.	42
16	Pastila termoelétrico, comumente conhecida como peltier.	43
17	O elemento sensor de baixo custo utilizado para medir a umidade relativa do ar e temperatura do ar.	44
18	Sensor de temperatura ds18b20 usado juntamente com o peltier para medir a temperatura, ao lado direito o esquema eletrônico do ds18b20.	45
19	Esquema dos abrigos alternativos de termohigrômetros projetados em 3d. Foram feitos dois modelos, A e B,.	46

20	A imagem 1), mostra as peças ainda na mesa da impressora 3d, e a imagem 2) os abrigos montados.	46
21	A imagem a) temos o projeto em 3d do sensor e na imagem B) o protótipo já fabricado recebendo os sensores de fluxo (peltier) e de temperatura (ds18b20)	47
22	As duas imagens superiores são os testes feitos em laboratório e as imagens inferiores a instalação no campo (Baía das pedras).	48
23	O datalogger alternativo, o circuito com os ADC's ligado ao raspberry pi e todos os softwares instalados em duas versões 8 canais e 16 canais, a montagem em caixa a prova d'água e testes com diversos sensores.	51
24	Tela de ambientes gráfico de monitoramento em tempo real, totalmente integrado com o EPICS e datalogger alternativo baseado em PC.	52
25	Tela de monitoramento estático criada em html.	52
26	Na imagem temos os abrigos alternativos A e B juntamente com termohigrômetros de referência C), instalados no campo.	53
27	Regressão linear da temperatura do ar realizada a partir do sensor alternativo de o de referencia (VAISSALA)	54
28	Regressão linear da umidade relativa do ar realizada a partir do sensor alternativo e o de referência (VAISSALA)	54
29	Regressão linear da temperatura do ar realizada a partir do abrigo alternativo A) de o de referência C) (VAISSALA)	55
30	Regressão linear da temperatura do ar realizada a partir do abrigo alternativo B) de o de referência C) (VAISSALA)	55
31	Temperatura do solo em 1,3,7,15,30cm de profundidade, medidas pelo sensor de temperatura do TERMOFLUX.	57
32	Temperatura do solo em 1,3,7,15,30cm de profundidade, medidas pelo sensor de temperatura do TERMOFLUX.	57
33	Fluxo de calor solo nas seguintes profundidades 1, 3, 7, 15, 30cm, medidas pelo fluxímetro do TERMOFLUX.	58

34	Fluxo de calor solo nas seguintes profundidades 1, 3, 7, 15, 30cm, medidas pelo fluxímetro do TERMOFLUX.	58
35	Perfil de calor solo, nas profundidades 1, 3, 7, 15, 30cm, medidas pelo sensor alternativo TERMOFLUX.	59
36	Regressão linear das medidas de fluxo de calor do solo, realizadas com o sensor alternativo e o de referência instalados a 1cm de profundidade. . . .	59
37	Gráfico das medida de referência juntamente com a medida do sensor alternativo, aplicado a equação do ajuste da Regressão linear da figura 36. . .	60

Lista de Tabelas

1	Análise de correlação entre os fluxímetros.	58
---	---	----

MARQUES, J.B. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO O PROGRAMA EPICS**. 2016. 69 f. Tese (Doutorado), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

RESUMO

Este trabalho visa realizar o desenvolvimento de instrumentação dedicada a pesquisa em Física Ambiental, no que compreende sensores e datalogger alternativos, para medidas, leitura, armazenamento e transmissão de dados, de forma econômica e código aberto. O programa EPICS será aplicado para leitura, monitoramento e controle de sensores e equipamentos de pesquisa microclimáticas. Apresentamos o desenvolvimento e análise de um sistema de aquisição de dados flexível que pode ser utilizado para controle e monitoramento de equipamentos instalados no campo e em laboratório. Também neste trabalho, foi desenvolvido abrigos para termohigrômetros, sensores alternativos de temperatura umidade relativa do ar e temperatura e fluxo de calor no solo, de baixo custo e compatível com sensores comerciais para pesquisa.

Palavras-chave: instrumentação, EPICS, micrometeorologia, raspberry pi, sensores alternativos, datalogger.

MARQUES, J.B. **SYSTEM DEVELOPMENT FOR MONITORING AND MICROCLIMATE DATA ACQUISITION USING THE PROGRAM EPICS.**

2016. 69 f. Thesis (PhD in Environmental Physics), Physics Institute, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

ABSTRACT

This study aims at the development of instrumentation dedicated to research in Environmental Physics, comprising the alternative sensor and datalogger for measures, reading, storage and transmission of data, economically viable and open source. The EPICS program will be implemented for reading, monitoring and control sensors and microclimate research equipment. In addition, we present the development and analysis of a flexible data acquisition system that can be used for control and monitoring equipment installed in the field and in the laboratory. Also in this work, it was developed shelters for thermohigrômetros, alternative temperature sensors relative humidity and temperature and heat flux in the soil, low cost and compatible with commercial sensors to search.

Keywords: instrumentation, EPICS, micrometeorology, raspberry pi, alternative sensors, datalogger.

1 Introdução

Entender mudanças meteorológicas e do clima sempre foi objeto de interesse geral, principalmente por questões práticas e estratégicas como planejamento agrícola, ambiental, urbano. Este tema está em destaque em decorrência dos resultados de pesquisas mundiais sobre mudanças climáticas seus impactos no meio ambiente e sociedade, apresentados em relatórios anuais.

Nas últimas décadas observou-se um aumento expressivo da quantidade de CO_2 na atmosfera devido a ações antrópicas e alterações climáticas atribuídas a esse carbono. Neste sentido, projetos de pesquisa e monitoramento ambiental foram iniciados em vários países em colaboração, como por exemplo o projeto LBA (The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, realizando pesquisa com cerca de 280 instituições nacionais e estrangeiras, realizados por 1400 cientistas brasileiros e outros 900 pesquisadores de países amazônicos, de 8 nações europeias e de instituições americanas, visando estudar e entender as mudanças climáticas e ambientais em curso, para favorecer um processo de desenvolvimento sustentável na Amazônia.

Monitorar o ambiente através de medidas das variáveis micrometeorológicas, proporciona grandes avanços no entendimento do microclima e do clima do planeta. Cada microclima com sua dinâmica tem participação no macroclima, uma rede de estações micrometeorológicas fornece séries temporais das variáveis físicas contendo informações do estado imediato do microclima que podem ser utilizados para estudos da evolução do comportamento local sob a influência de forçantes globais.

Historicamente grande parte das descobertas ou confirmação de uma teoria, em física, tiveram que necessariamente, passar pelo desenvolvimento de instrumentos com precisão capaz de medir o fenômeno em questão. Exemplos históricos como medidas de temperatura só foram possíveis a partir do século XVIII com o desenvolvimento do termômetro iniciado pela observação de dilatação do ar pelo aquecimento. Em 2014 vivemos um espetáculo da física moderna com o LHC-CERN na confirmação do Bóson de Higgs e em 2016 a fantástica descoberta das ondas gravitacionais pelo laboratório LIGO.

Nossa pesquisa requer a mesma persistência e esforço para a pesquisa e desenvolvimento de equipamentos que permitam medir um conjunto de dados suficientes para modelagens da dinâmica do microclima e conseqüentemente do clima. Nos últimos dez anos, sensores passaram de uma precisão de 15% para 5% nas medias. A tecnologia avançou mais ainda, e contamos com satélites dedicados à monitoramento ambiental de larga escala, ainda com a dependência de medidas *in situ* para comparação e calibração do método utilizado. Modelos para simulação da dinâmica da atmosfera e interface vegetada com atmosfera para previsão de clima estão cada vez mais eficientes com o auxílio de dados de entrada do microclima medidos com precisão elevada.

As medidas *in situ* continuam sendo um componente essencial de pesquisas micrometeorológicas e meteorológicas. As medidas de campo são normalmente tomadas por dataloggers tradicionais, fazendo a leitura de sensores ligados a ele, que em intervalos de tempo fixos armazenam os dados localmente para posterior coleta ou transmissão para um repositório central através de links de rádio ou telefone. O avanço da microeletrônica tornou possível o desenvolvimento de dataloggers simples e de menor custo. Permitindo uma oportunidade de aumentar a amostragem espacial das medidas realizadas em campo para pesquisas e aplicações micrometeorológicas e agrometeorológicas muito presentes no estado de Mato Grosso.

A complexidade dos sistemas ambientais, reflete em todo o projeto de monitoramento das variáveis a serem medidas, esse emaranhado de possibilidades, afeta diretamente o desenvolvimento do sistema de aquisição a ser utilizado. Pode-se inferir que, experimentalmente, é necessário ter uma organização do experimento como fonte de energia, sensores, datalogger, leitura dos sensores, armazenamento dos dados e envio dos dados. Bem como alarmes de monitoramento de energia, e redundância no funcionamento dos equipamentos. Todas essas informações ordenada nos diversos níveis da estrutura do monitoramento, para que se possa efetivamente gerenciar e coordenar o experimento.

Um dos principais problemas na concepção do presente sistema de monitoramento provou ser a necessidade de integrar hardware e software de diferentes tipos; a adoção de um único sistema de controle, capaz de implementar um padrão de comunicação comum,

torna-se, portanto, um passo crucial para a realização do desenvolvimento de um datalogger baseado em computador. Entre as várias ofertas disponíveis no mercado encontramos o programa EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System), um software de controle e monitoramento de código aberto desenvolvido dentro da comunidade de laboratórios de física nuclear; ele fornece ferramentas e aplicações para criar um hardware independente do sistema de monitoramento e de controle distribuído, e também permite implementar uma infra-estrutura de comunicação capaz de realizar um banco de dados distribuídos entre todos os nós da rede de controle.

O desenvolvimento de um datalogger com as características de um computador e do EPICS podem tornar possível a liberdade de fazer pesquisa sem ficar refém de programas proprietários de controle, que geralmente são específicos para cada equipamento. O potencial do EPICS vai muito além do necessário para aplicações em física ambiental, permitindo possibilidades de utilização de novos equipamento e desenvolvimento de novas ferramentas.

Atualmente, no programa de Pós-graduação em Física Ambiental (PGFA), estão em fase de monitoramento e testes, três experimentos: O primeiro refere-se ao monitoramento do solo, medindo as variáveis de temperatura e fluxo de calor do solo em várias profundidades, e também a umidade do solo. O segundo monitoramos a umidade relativa e temperatura do ar. O terceiro é um sistema de perfil de CO_2 e H_2O . Todos esses experimentos estão utilizando o datalogger alternativo, a fim de realizarmos os testes de estabilidade e funcionalidade no monitoramento desses sistemas. Para verificar o funcionamento do datalogger alternativo e do sistema de controle, instalamos para cada um desses experimento uma referencia com sensores e dataloggers comerciais com certificados de calibração para comparação de resultados.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi estudar equipamentos alternativos para leitura, armazenamento e transmissão de dados, medidores e sensores para pesquisa em física ambiental utilizados nas linhas de pesquisa do programa de pós-graduação em física ambiental

do Instituto de Física da UFMT.

1.2 Objetivos Específicos

a) Pesquisar uma alternativa de datalogger com múltiplas funções, customizável, de baixo custo e simples de operar;

b) Pesquisar e desenvolver um sistema de aquisição de dados utilizando software livre para operar com a instrumentação alternativa e a convencional;

c) Aplicar o software EPICS para monitoramento e controle de equipamentos micrometeorológicos;

d) Pesquisar e desenvolver sensores alternativos para uso em pesquisa de micrometeorologia.

A tese é composta por 7 capítulos, o segundo capítulo faremos a revisão sobre os temas pertinentes para a física ambiental, softwares e hardware utilizados para a pesquisa em instrumentação. O terceiro capítulo detalhamos os hardwares, softwares e técnicas utilizadas, a instalação do EPICS e os scripts desenvolvidos para o monitoramento e a fabricação dos protótipos. O quarto capítulo apresentaremos os resultados obtidos e discutiremos a comparação do sistema estudado a um sistema comercial estabelecido. O quinto capítulo apresentaremos as conclusões obtidas deste trabalho. O sexto capítulo, faremos sugestões de trabalhos futuros. E por fim, no sétimo capítulo as referências bibliográficas.

2. Revisão Bibliográfica

Nesta seção foi dedicada a descrição dos dois biomas mais estudados pelo PPGFA, o Cerrado e o Pantanal. Também descrevemos duas técnicas, Razão de Bowen e Eddy Covariance, amplamente utilizadas em temas gerais como, por exemplo, o balanço de energia e aquecimento global. A qualidade das medidas realizadas, definem o impacto dos resultados pesquisados.

2.1 O Cerrado Brasileiro

Ocupando cerca de 24% do território brasileiro, com maior extensão distribuída no Planalto Central, sendo o Cerrado, o segundo maior bioma nacional em extensão. Localizado entre 5° e 20° de latitude Sul e de 45° a 60° de longitude Oeste em altitudes que variam de 300m na Baixada Cuiabana (MT), a 1600m na Chapada dos Veadeiros (GO) ([Pereira e de Oliveira, 2005](#)).

Compreende uma área de 2 milhões de quilômetros quadrados com abrangência nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Minas Gerais, Ceará, Bahia, Goiás, Maranhão, Rondônia, São Paulo, Tocantins e Distrito Federal. O cerrado é encontrado também desconectado no Pará, Roraima, Amapá, Amazonas e ao Sul do Paraná, em algumas ilhas ([Pereira e de Oliveira, 2005](#)).

Os limites do Cerrado são na região norte com o Floresta Amazônica, ao sul com campos de clima temperado, a leste os limites são com a Mata Atlântica, a Oeste com o Pantanal e a nordeste com a Caatinga ([Adámoli et al., 1986](#)). Toda a extensão do Cerrado no Brasil e seus limites mostramos na figura 1.

No estado de Mato Grosso o cerrado estende-se por aproximadamente 300.000km² que equivale cerca de 34% do território, e nesta área está situado as nascentes da bacia Amazônica e a do Tocantins, que estão entre as maiores bacias hidrográficas da América do Sul ([Machado et al., 2004](#)). Proporcionando favorecimento a biodiversidade com esse alto potencial aquífero ([PEREIRA, 1997](#)).

As características do Cerrado, segundo a classificação de Koppen, é um clima

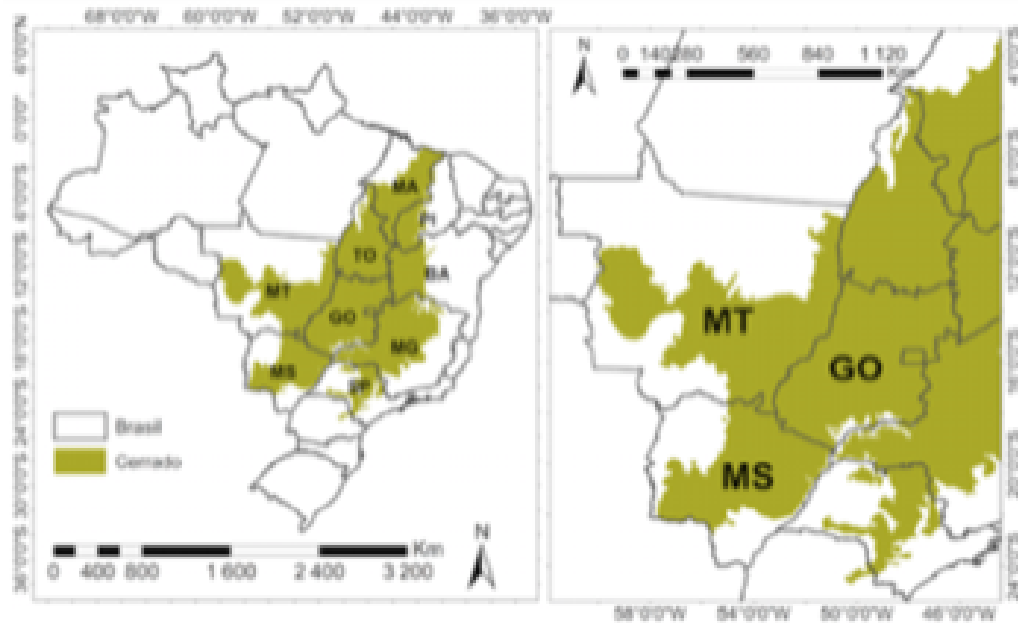


Figura 1: Mapa do Brasil com destaque nos limites da ocorrência do Cerrado.

predominantemente Aw, tropical chuvoso, sendo invernos secos e verões chuvosos. A precipitação média anual é de 1500mm (Vourlitis et al., 2011), (Hill et al., 2010), com variações que vão de 750 a 2000mm (Adámoli et al., 1986). Em geral, o comportamento atmosférico de precipitação das estações, semelhante em toda a região, cria uma tendência de uniformidade pluviométrica.

No Cerrado a tipologia das unidades ambientais é determinada pela composição dos mosaicos paisagísticos. Esses, são influenciados pelo clima que altera a organização e produção do espaço geográfico (Eiten, 1972). Não é possível precisar os fatores que define a aproximação entre o quadro ecológico do Cerrado e a meteorologia, mesmo conhecendo que a disponibilidade hídrica define o Cerrado e as Matas (Bastos e Ferreira, 2012).

Esse tipo de análise fica evidenciado, por exemplo, em áreas de ocorrência da Caatinga condicionada pela deficiência hídrica, mesmo em diferentes grau de fertilidade do solo. Para o Cerrado, a associação vegetal tem maior ligação a fatores de natureza edáfica RIZZINI e PINTO (1964).

As fisionomias que a vegetação apresenta, englobam formações florestais, de savana e campestres. Refere-se a savana as áreas com arbustos espalhados e árvores sobre um estrato gramíneo, e não há dossel contínuo formado (Ribeiro e Walter, 2008). Cinco tipos

de variações fisionômicas caracterizam o Cerrado: Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado Stricto Sensu e Cerradão, (Arens, 1958) representados na Figura 2.



Figura 2: Representação das fisionomias de vegetação mais comuns no Cerrado (Ribeiro et al., 2008)

Campo Limpo – predominantemente herbácea, ausência de árvores e poucos arbustos. Possui também, pouca representativas, as formas fisionômicas, tais como, campo úmido, campo rupestre, veredas, matas ciliares, matas de galerias, entre outras (Ribeiro et al., 1998).

Campo Sujo – caracterizado por uma fisionomia exclusivamente herbáceo arbustivo, com arbustos esparsos e subarbustos, formados pelos tipos menos desenvolvidos no cerrado stricto sensu. Menos de 5% de cobertura com vegetação lenhosa com altura média típica de 2.

Campo Cerrado - vegetação arbóreo-arbustiva (subtipo), com cobertura arbórea na faixa de 5 a 20% e altura média de 2 a 3 metros. (Coutinho, 1978).

Cerrado Stricto sensu - ocorrem presença de árvores baixas, retorcidas e com ramificações irregulares. Apresenta predominancia arbustiva, sendo esparsos e dossel descontínuo, cobertura arbórea de 20 a 50% e altura média de 3 a 6 metros.

Cerradão - Caracterizada por espécies que ocorrem nas Florestas Tropicais e no cerrado Stricto Sensu. O estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros e a copa das árvores é contínua com cobertura arbórea variando de 50 a 90%, possibilitando condições para a formação de estratos arbóreos e herbáceos diferenciados (Ribeiro et al., 2008).

O Cerrado é um dos principais biomas estudados pela Física Ambiental, ele ocorre em grande parte do estado de Mato Grosso proporcionando uma oportunidade de pesquisa

local, neste contexto, nosso trabalho é motivado para melhorar e proporcionar condições de pesquisa, para entender o complexo comportamento deste bioma.

2.2 O Pantanal Brasileiro

O Pantanal brasileiro tem uma extensão de 138.183km^2 e ocupa 38% da Bacia do Rio Paraguai e pode ser considerado a maior planície alagável do planeta. Localizada no centro da América do Sul, ocupando parte do território brasileiro, paraguaio e boliviano (Junk et al., 2006; Alho, 2008). É uma região complexa, como todas as planícies de inundação que apresenta funcionamento dinâmico característico, e específicas comportamento hidrológico, com período de chuva e inundação, normalmente nos meses outubro a abril, e período de vazante seguido de seca, do mês de maio a setembro (Rebellato e Cunha, 2005).

O transbordamento dos rios que banham a região do Pantanal, define a inundação da área, juntamente com os altos índices pluviométricos, estabelecendo uma inundação média de aproximadamente 80% das áreas do Pantanal, modificando as características deste ambiente através do aumento de material orgânico, nutrientes alóctone devido disponibilidade de água promovido pela inundação.(Junk et al., 2006).

As províncias fitogeográficas como o Cerrado, as florestas estacionais, Chaco, Floresta Amazônica e Mata Atlântica, influenciam a flora da região do Pantanal. Existe cerca de duas mil espécies vegetais em todo o Pantanal, destas, aproximadamente 49% são espécies lenhosas e apenas 18% são tolerantes a inundação. (Junk, 2013)

A organização da vegetação nas áreas do Pantanal, tem influência determinística promovida pela complexa interação entre tipo de solo, microtopografia, e o pulso de inundação e sua duração. (Zeilhofer e Schessl, 2000). Esse pulso de inundação sazonal é considerado como o mais importante fenômeno ecológico do Pantanal, pela ligação direta na promoção de seleção natural das espécies tolerante a inundação (Alho, 2008). Entretanto, as características das plantas lenhosas, apresenta forte impacto causado pela estação seca, de acordo com as preferências de habitat (Junk et al., 2006).

A complexa dinâmica dos fenômenos ecológicos do Pantanal exigem o agrupa-

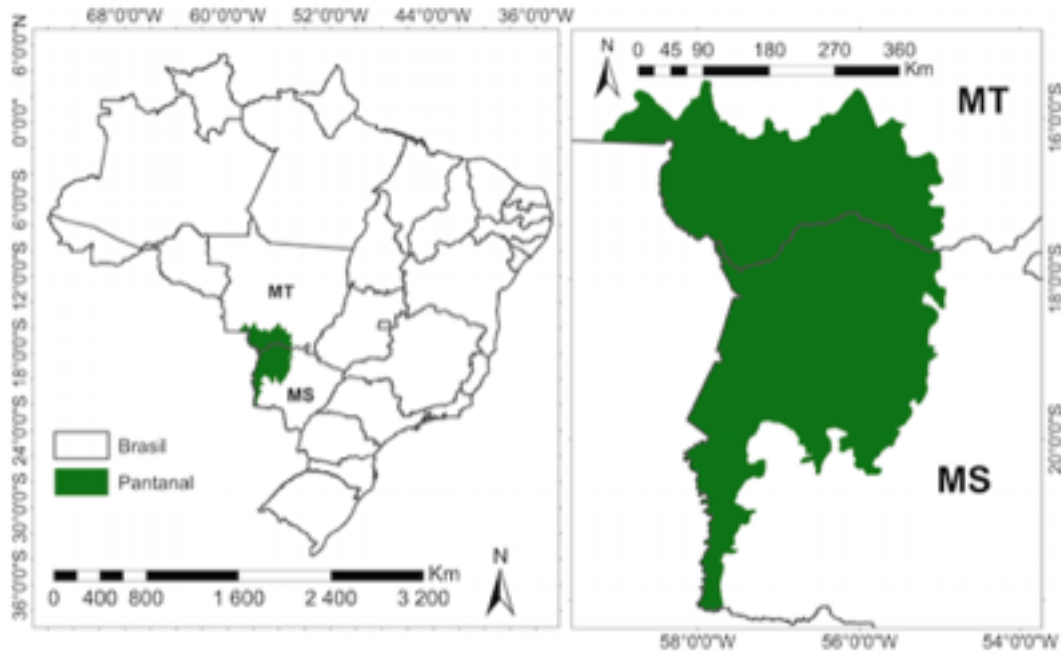


Figura 3: Mapa do Brasil com destaque nos limites da ocorrência do Pantanal.

mento multidisciplinar de pesquisa ambiental, tornando o monitoramento das variáveis microclimáticas um desafio, praticamente, exclusivo. As pesquisas ambientais desenvolvidas no pantanal requerem mais atenção no que diz respeito a instrumentação, tendo em vista o período de inundação. Os projetos de monitoramento ambiental, próximos ao solo, necessitam ter a flexibilidade para ficarem submersos durante o pulso de inundação, requerendo planejamento e equipamentos específicos.

2.3 Razão de Bowen

Para estimar o fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) é comum aplicar o método denominado como Razão de Bowen (Bowen, 1926), o método estima os componentes fluxos de calor latente e sensível do balanço de energia. As medidas são coletadas diretamente no local de estudo, as variáveis utilizadas são os gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água (Pezzopane e Júnior, 2003). Para obter o maior número de variáveis do ambiente, quando há impossibilidade de estimar as densidades de fluxos por esse método, utilizam o emprego do método aerodinâmico (Monteith e Unsworth, 2007).

A partir das medidas de saldo de radiação (Rn), fluxos de calor no solo (G),

diferenças de temperatura (ΔT) e pressão de vapor (Δe) entre dois níveis é possível escrever a equação do balanço de energia como:

$$R_n - G - H - LE = 0. \quad (1)$$

De posse dos valores de gradiente de temperatura (ΔT), de gradientes de tensão de vapor d'água do ar (Δe) e coeficiente psicrométrico (γ), efetua-se os cálculos, de forma a estimar o valor da Razão de Bowen (β), para cada intervalo de tempo, conforme a Eq.(2),

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}, \quad (2)$$

onde o γ é o coeficiente psicrométrico, com valor igual a $0,0626 \text{ kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

O fluxo de calor latente, em $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$, será estimado por meio da Eq.(3)

$$LE = \frac{-R_n - \frac{G_1 - G_2}{2}}{1 - \beta}. \quad (3)$$

A relação dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) é conhecida como razão de Bowen (β),

$$\beta = \frac{H}{LE}. \quad (4)$$

Conhecido os valores significativos dos componentes do balanço de energia, será possível calcular a estimativa da evapotranspiração (ET), em $mm \cdot 30min^{-1}$, para cada intervalo de 30 minutos.

$$ET = \frac{LE}{\lambda 48t}, \quad (5)$$

t = intervalo de tempo considerado, ou seja, 30 minutos; 48 = constante utilizada para ajustar a escala de tempo; e λ = calor latente de evapotranspiração ($2,45 MJ \cdot kg^{-1}$), utilizada para converter o fluxo de calor latente em água evapotranspirada.

O método apresenta baixo custo e facilidade de instalação do experimento o que torna muito utilizado como método padrão em cultivos anuais (LIMA et al., 2005). En-

tretanto, a aplicação em áreas de floresta, necessita de medidas de referência para sua validação; a técnica mais empregada neste caso é obtida por meio de medidas de correlação de vórtices turbulentos (ARRUDA et al., 2006).

2.4 Eddy Covariance

O método conhecido pelo nome de covariância de vórtices turbulentos (Eddy Covariance), mede as trocas totais de CO_2 e H_2O e calor sensível no ecossistema, utilizado amplamente para estudos micrometeorológicos.

Para a micrometeorologia, a covariância de vórtices turbulentos tornou-se a principal ferramenta para medidas dos fluxos e, segundo Verma (1990), se destaca em relação aos métodos tradicionais, como técnicas de câmaras para medir fluxos de massa e energia. Por exemplo, quase não provocam perturbações para o microambiente dos ecossistemas que estão sendo medidos continuamente (Baldocchi et al., 1988), e segundo Grace (2004) o método de covariância de vórtices turbulentos possibilita, diretamente, determinar se um ecossistema, contribuiu com o aumento de carbono, ou com a diminuição dele. (Grace, 2004)

Inicialmente, o método de covariância de vórtices turbulentos foi aplicado para medidas de fluxos de vapor d'água, de calor sensível e de momentum. Contudo, a partir de 1990, a sensibilidade dos sensores e rapidez nas respostas de medidas de CO_2 e H_2O , foi possível desenvolver sistemas de medidas de fluxos de CO_2 (Grace, 2004), esses sistemas foram imediatamente utilizados em estudos medindo a troca de CO_2 entre os ecossistemas e a atmosfera (Lee, 1998).

É possível, através de medidas, analisar significativamente os fluxos turbulentos (Goulden et al., 2004), mesmo com as condições de instabilidade atmosférica.

Nesse método, os sensores medem os fluxos de energia e massa, localizados acima da superfície de interesse, Os instrumentos devem ter resposta de medidas de alta frequência, o suficiente para registrar as flutuações turbulentas que contribuem para o fluxo (Leuning e JUDD, 1996). A representatividade dessas medidas ao fluxo subjacente à superfície, a instalação dos sensores precisam estar dentro da camada limite turbulenta, dessa forma o

fluxo será aproximadamente constante com a altura (Moncrieff et al., 1997). Os sensores principais para as medidas necessárias a aplicação do método são anemômetro ultra-sônico em 3D(x,y,z) direções e medidas da concentração de CO_2 realizadas numa frequência de 10Hz, um exemplo de sistema de Eddy Covariance instalados na floresta pode ser visto na figura 4.



Figura 4: Sistema de Covariância de Vórtices Turbulentos, instalados na torre do pantanal 2.2.

Segundo Verma (1990) a irregularidade na superfície de rugosidade (ou da umidade, temperatura) em cada campo modifica a camada de ar que passa acima da superfície. Alterações na rugosidade da superfície (temperatura, umidade) modificam a dinâmica do fluxo pelas novas condições da superfície. Essa camada que sofre as alterações da dinâmica da superfície é chamada de camada turbulenta.

2.5. EPICS

Ao contrário das aplicações industriais de automação, que geralmente podem ser atribuídas a um único tipo de dispositivos de controle, tais como PLCs (Programmable logic controller), a operação de um sistema complexo, como uma torre micrometeorológica

de pesquisa requer a utilização de ferramentas com características muito diferentes e muitas vezes não pode ser gerenciado através de um único modelo de interface de hardware nem um protocolo de comunicação comum. (Barbalace et al., 2010) Para dar apenas um exemplo, pode-se encontrar equipamentos do mesmo grupo realizando medidas a cada hora ou 30 min, juntamente equipamentos com tempos de resposta de menos de um microssegundo (Dalesio et al., 1996). Neste caso teríamos um equipamento de leitura diferente para cada grupo de equipamento.

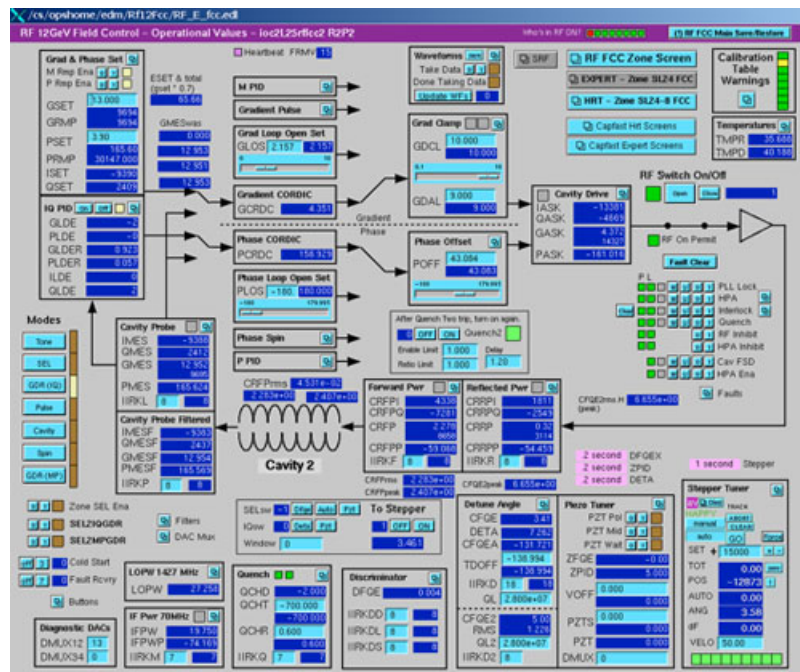


Figura 5: Exemplo de uma tela de controle utilizando o EPICS

O software EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System), constituído por um conjunto de ferramentas, bibliotecas e aplicativos de código aberto dedicado à criação de sistemas de controle distribuído em tempo real, não só responde a esta necessidade, mas também implementa uma funcionalidade de nível superior, conhecida como *bus* software, que dá a possibilidade de acessar o valor de uma variável de processo adquirido em qualquer subsistema através de uma simples chamada por um nome. Mostramos um exemplo de aplicação EPICS para controle, monitoramento e alarmes (Thompson e Blokland, 2003). Mostramos na figura 5 uma exemplo de tela de controle personalizada, recebendo os dados em tempo real do EPICS.

Esta infra estrutura de rede, é construída sobre o TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) bem conhecido e protocolos UDP (User Datagram Protocol), chamado Canal de Acesso, onde um servidor de processo disponibiliza seus dados para um número virtualmente ilimitado de processos do cliente (Dalesio et al., 1996). A velocidade e resistência características desse Canal de Acesso, são os parâmetros mais avaliados do EPICS. Essas avaliações positivas são as razões que levaram à decisão dos laboratórios utilizar o EPICS como uma ferramenta para o controle e monitoramento de aceleradores (Keitel, 2001). No Brasil o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) utiliza o EPICS para controle e aquisição de dados nas linhas de luz (Moreno et al., 2015), (Piton et al., 2012).

O projeto EPICS é uma colaboração, entre vários laboratórios europeus e americanos de investigação científica, a fim de desenvolver ferramentas de software voltadas para a implementação de sistemas de controle de aceleradores e equipamento para a física (Dalesio et al., 1991). Mostramos na Figura 6 o logo do projeto EPICS.

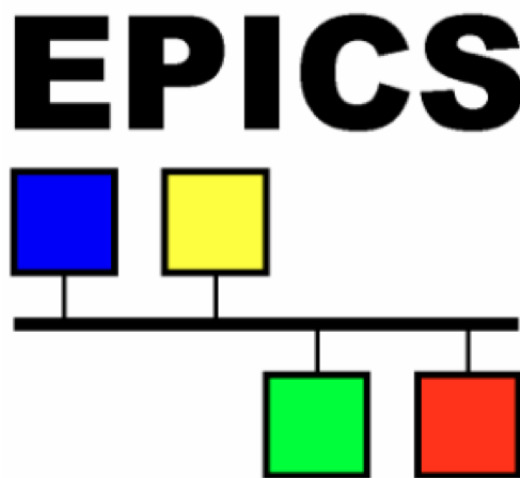


Figura 6: Logo do projeto EPICS

Essa ferramenta é constituída por uma arquitetura de sistemas de controle, construído sobre um protocolo eficiente para a transferência de dados (Canal de Acesso) com base no modelo cliente/servidor, e uma base de dados distribuída em tempo real (Satoh et al., 2009). Por analogia com a terminologia usada no banco de dados, uma variável de processo (PV) é tratada como um elemento de uma estrutura mais complexa chamado

registro. O registro, por sua vez, contém mais informações que descrevem as propriedades dessa variável numa dada aplicação (Dalesio et al., 1991).

2.5.1 O ambiente de desenvolvimento EPICS: base EPICS, extensão e módulo EPICS

Devido a flexibilidade de personalização do EPICS, este software é composto de muitos componentes dedicados ao desenvolvimento de sistemas de controle distribuído. Algumas ferramentas do EPICS permitem, a criação de um servidor, o uso em algoritmos de controle, também permite, o gerenciamento eficiente do sistema (Carvalho et al., 2011). E, finalmente, existem módulos e controladores que permitem fazer a interface de controle para vários dispositivos e hardware pela rede (Odagiri et al., 2009). Os componentes e as ferramentas EPICS são classificados nas seguintes categorias:

- Base EPICS:

Ela representa o núcleo do ambiente de desenvolvimento. A base EPICS fornece os principais componentes e bibliotecas para criar, e gerenciar uma rede de controle distribuído: as bibliotecas padrão, para a construção dos algoritmos de controle, bibliotecas de comunicação com o sistema operacional, e as bibliotecas de gerenciamento de infra-estrutura comunicação (Canal de Acesso) (Dalesio et al., 1991);

- Extensões EPICS:

Nesta categoria estão incluídos todas as ferramentas EPICS para gerenciar aplicativos base e cliente dedicados ao software de controle de edição, bem como a gestão e diagnóstico de rede de controle distribuído (Odagiri et al., 2003).

- Módulos EPICS:

A forma de comunicação do EPICS para diversos hardwares, gerou um grande número de módulos diferentes. Dessa forma a comunidade optou por manter separados, os módulos do pacote base EPICS. Dessa forma, o usuário deve selecionar os módulos necessários, para sua aplicação (Odagiri et al., 2003). Os módulos EPICS por sua vez são catalogados da seguinte forma:

- Suporte Soft: ou seja, o EPICS suporta comunicação com programas, por exemplo um novo tipo de registro;
- Suporte de Hardware: ou seja EPICS suporte necessário para se comunicar com dispositivos de hardware.

A arquitetura EPICS usa uma técnica de comunicação cliente/servidor entre os diversos computadores que compõem a rede de controle, um esquema dessa arquitetura é mostrada na figura 7, um sistema distribuído, disponibiliza canais de acesso para os programas, arquivos e display para monitoramento e controle. Os aplicativos de servidor, chamadas IOC (Input/Output Controller), executa algoritmos de controle e interface local, através do módulo apropriado, com qualquer equipamento (Dalesio et al., 1994).

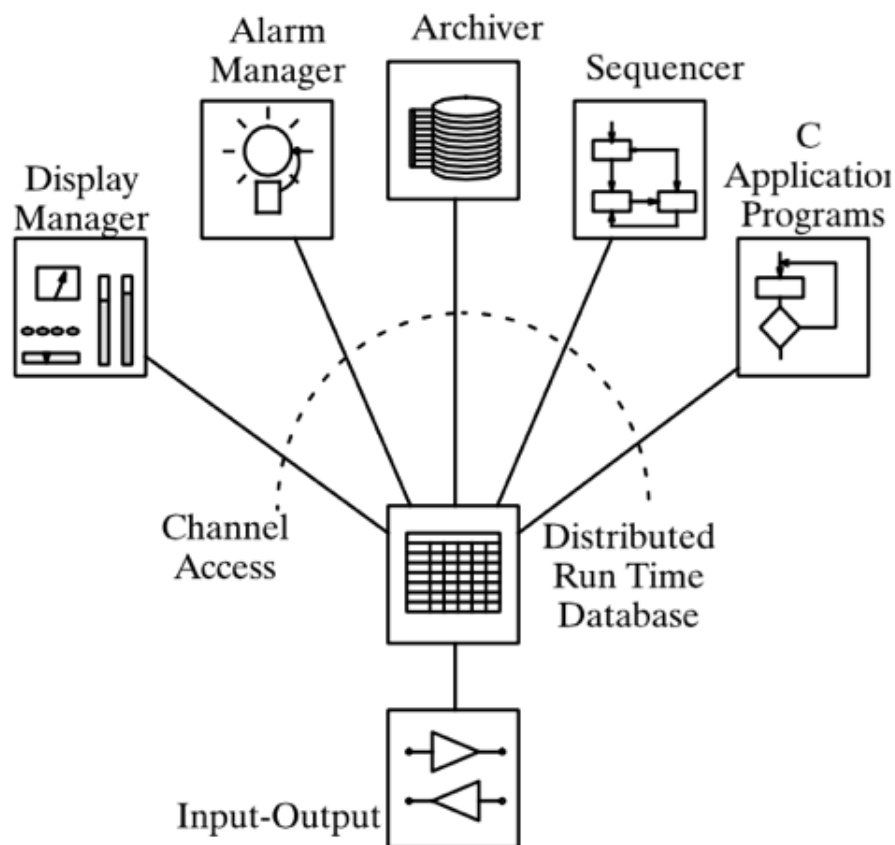


Figura 7: Diagrama da arquitetura de funcionamento do EPICS. (Dalesio et al., 1991)

As informações desenvolvidas pelos servidores são então disponibilizadas para aplicativos do cliente através do Protocolo de Acesso de Canal. Note-se que as aplicações

de servidor são fornecidos pelo pacote base EPICS, e, para utilizar os aplicativos do cliente, você precisa instalar o caminho apropriado dentro do ambiente de desenvolvimento (Clausen e Dalesio, 2008). No diagrama da figura 7, EPICS é um software multi-plataforma, e para cada uma das plataformas existe diferenças para a instalação e configuração de seus componentes. Em particular, para cada sistema operacional, é necessário atender a certos requisitos em termos de compiladores e pacotes de software (Kraimer et al., 2001).

Para este trabalho, foi realizada a instalação da base EPICS e extensões genéricas, que será então utilizado como um nó da rede, para que se estabeleça um controle distribuído. A instalação foi feita em um Raspberry Pi, que detalhamos na seção 2.7, com o sistema operacional RASPBIAN (raspberry + debian linux), um sistema baseado no Debian Linux. Esse sistema, o Raspbian, é o sistema oficial mantido pelo fabricante, (Richardson e Wallace, 2013).

O EPICS não está disponível para o SO raspbian, mas utilizando o programa destinado ao Debian Linux, é possível realizar a instalação. Os detalhes da instalação do EPICS no RPI descrevemos na seção 6.

2.6 Registradores de Dados

Os registradores de dados ou dataloggers tem a função de registrar os parâmetros físicos ou elétricos em um intervalo de tempo. Os dataloggers são equipamentos utilizados em várias aplicações do cotidiano, como nos automóveis, monitoramento ambiental, monitoramento de estruturas e monitoramento de maquinário. Algumas medidas são bem comuns, como por exemplo temperatura, corrente, pressão, velocidade, força e aceleração.

Os registradores de dados vão de dispositivos básicos de medição a sistemas complexos de medição, alguns com funções incorporadas que podem realizar análises e mostrar resultados, (Panahi et al., 2008). A determinação de um tipo de datalogger deve ser considerada a partir do tipo de medição, quantidades de sensores que será usado, tradicional ou baseados em PC, memória interna, etc.

2.6.1 Tipos de medidas

Dataloggers tem a capacidade de medir diferentes tipos de sinais e sensores, por exemplo:

- Temperatura
- Tensão
- Corrente
- Deformação
- Carga
- Pressão
- Resistência
- Potência
- Evento

A maioria desses exemplos são medidos por sinal de tensão.

2.6.2 Quantidade de canais

A quantidade de canais do datalogger é importante considerando a aplicação, que podem exigir somente um tipo de registro de dados, enquanto outras exigem vários tipos de medidas e diferentes tipos de sensores ([Shaahid e Elhadidy, 1994](#)). Para isso os dataloggers podem ser encontrados com apenas um canal ou multicanais e até mesmo modulares para que seja configurado de acordo com a necessidade.

2.6.3 Dataloggers tradicionais e baseados em PC

Os dataloggers comuns, considerados tradicionais são equipamentos de bancada para medir sinais de um sensor, converte esse sinal em sinal digital e armazenam os dados

em uma memória interna, (Panahi et al., 2008). Os dados devem ser transferidos para um computador para serem analisados e armazenados num banco de dados.

Os dataloggers conhecidos como dataloggers baseados em PC, são dispositivos que medem os sinais ligados a um computador ou acoplados diretamente. Neste caso o PC se torna parte do sistema, dessa forma, o que antes apenas registrava os sinais podem utilizar todas as características de um PC como desempenho dos processadores, discos de armazenamento, monitores e barramentos de E/S do PC. As principais vantagens sobre os dataloggers tradicionais são a análise e visualização em tempo real, definição de funções, capacidade de armazenamento, múltiplas formas de conexões (usb, rs232, wifi, bluetooth, 3g,).

Em aplicações de monitoramento contínuo que necessite acompanhar os resultados em tempo real, o monitoramento se torna praticamente direto com um datalogger baseado em PC, através das conectividade de rede do PC e as aplicações web que podem ser instaladas com alarmes e agendamento de tarefas.

Em micrometeorologia, os dataloggers mais utilizados são os tradicionais de marcas consolidadas, veja na figura 23 o exemplo de alguns dataloggers mais utilizados em micrometeorologia.



Figura 8: Exemplos de dataloggers tradicionais da marca Campbell Scientific.

2.7 A Placa Raspberry pi (RPI)

O Raspberry Pi é um pequeno computador, com dimensões de $5 \times 9 \text{cm}$ com entradas e saídas capazes de conectar monitor, teclado, mouse e cartão de memória micro SD, desenvolvido no Reino Unido pela Fundação Raspberry Pi, (Pi, 2012). Sua placa é toda integrada. Criada com objetivo de promover o ensino em Ciência da Computação básica, (Raspberry, 2015).

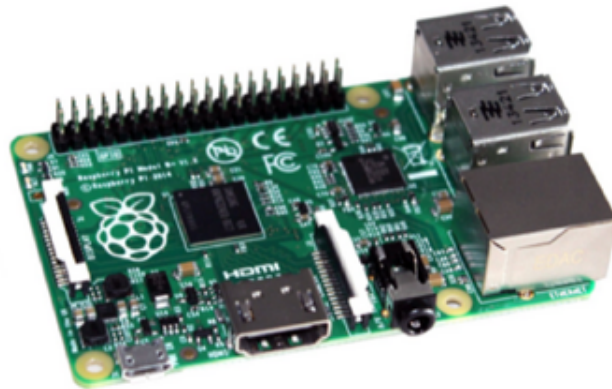


Figura 9: Placa Raspberry pi B+, utilizada neste trabalho.

É um computador superior a maioria dos desktops antigos, suporta linguagens de programação como por exemplo, o python (Jain et al., 2014). Podendo desenvolver praticamente todas atividades de um computador comum.

A versão b é baseada em chip (SoC) Broadcom BCM2835, incluindo um processador ARM1176JZF-S de 700 MHz, GPU VideoCore IV, e 512 MB de memória RAM (Upton e Halfacree, 2014). Não possui memória permanente - como um disco rígido - esse papel é desempenhado por um cartão SD para armazenamento de dados.

2.7.1 Sistemas Operacionais

O Raspberry Pi é um pequeno computador, dessa forma suporta a instalação de um sistema operacional (Jain et al., 2014). Abaixo uma lista dos sistema que podem ser instalados no raspberry pi.

- AROS
- Android 4.0 (Ice Cream Sandwich)

- Arch Linux ARM
- Debian Squeeze
- FreeBSD[102]
- Firefox OS
- Gentoo Linux[103]
- Google Chrome OS
- NetBSD[104]
- Raspberry Pi Fedora Remix
- Open webOS[105]
- Raspbian[106] (Debian Wheezy port with faster floating point support)
- RISC OS
- Slackware ARM (formally ARMedslack)
- QtonPi a cross-platform application framework based Linux distribution based on the Qt framework

Esta lista de SO, limita-se apenas as versões A e B do Raspberry Pi aqui estudadas. No entanto, já é possível a instalação do linux Ubuntu e Windows IoT na nova versão do hardware o Raspberry PI 3.

	Model A	Model B
Target price: ^[6]	US\$ 25	US\$ 35 ^[64]
SoC: ^[6]	Broadcom BCM2835 (CPU, GPU, DSP, and SDRAM) ^[3]	
CPU:	700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM11 family) ^[3]	
GPU:	Broadcom VideoCore IV, ^[65] OpenGL ES 2.0, MPEG-2 and VC-1 (with license ^[62]), 1080p30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decoder and encoder ^[3]	
Memory (SDRAM):	256 MB (shared with GPU)	
USB 2.0 ports: ^[11]	1	2 (via integrated USB hub) ^[58]
Video outputs: ^[6]	Composite RCA (PAL and NTSC), HDMI (rev 1.3 & 1.4), ^[66] raw LCD Panels via DSI ^{[67][68]} 14 HDMI resolutions from 640x350 to 1920x1200 plus various PAL and NTSC standards. ^[69]	
Audio outputs: ^[6]	3.5 mm jack, HDMI	
Onboard storage: ^[11]	SD / MMC / SDIO card slot	
Onboard network: ^{[6][11]}	None	10/100 Ethernet (RJ45) ^[58]
Low-level peripherals:	8 × GPIO, UART, I2C bus, SPI bus with two chip selects, +3.3 V, +5 V, ground ^{[65][70]}	
Power ratings:	300 mA (1.5 W) ^[71]	700 mA (3.5 W)
Power source: ^[6]	5 volt via MicroUSB or GPIO header	
Size:	85.6 × 53.98 mm (3.37 × 2.125 in) ^[72]	
Weight:	45 g (1.6 oz) ^[73]	
Planned operating systems:	Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux ARM, ^[7] RISC OS ^[26]	

Figura 10: Especificações dos modelos A e B do Raspberry Pi, os testes descritos neste trabalho utilizou o modelo B.

3. Materiais e Métodos

O presente trabalho experimental foi realizado no Laboratório de Instrumentação e Calibração do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso e nas duas torres micrometeorológicas localizadas no Cerrado e Pantanal de Mato Grosso. Os protótipos foram divididos em duas etapas: na primeira, procedeu-se a instalação do SO Linux e EPICS no Raspberry Pi, o desenvolvimento dos módulos para controle/monitoramento, e desenvolvimento da placa de circuito com os ADC's, para ser utilizado como datalogger baseado em computador; na segunda, desenvolvimento de Abrigos para termohigrômetros e montagem de sensores alternativos para temperatura e umidade relativa do ar e temperatura e fluxo de calor no solo.

3.1 Localização

Os equipamentos utilizados para o monitoramento ambiental do PGFA estão instalados em duas torres micrometeorológicas:

- **Torre da Fazenda Miranda**, situada na divisa da capital Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger, mais precisamente na Fazenda Miranda mostrado na figura 11 (triângulo sólido), estado de Mato Grosso - Brasil, situada a 15 km SSE Cuiabá ($15^{\circ}43'$ Sul e $56^{\circ}04'$ Oeste) com altitude média de $157m$ em uma faixa de transição entre o Cerrado e o Pantanal, com vegetação característica de Cerrado.

As características do Cerrado, segundo a classificação de Koppen, é um clima predominantemente Aw, tropical chuvoso, sendo invernos secos e verões chuvosos. A precipitação média anual é de $1500mm$ (Vourlitis et al., 2011), (Hill et al., 2010), com variações que vão de 750 a $2000mm$ (Adámoli et al., 1986). Em geral, o comportamento atmosférico de precipitação das estações, semelhante em toda a região, cria uma tendência de uniformidade pluviométrica.

- **Torre da Baía das Pedras**, Localizada na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal – Baía das Pedras, área concedida por comodato para a Universidade Federal de Mato Grosso na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social

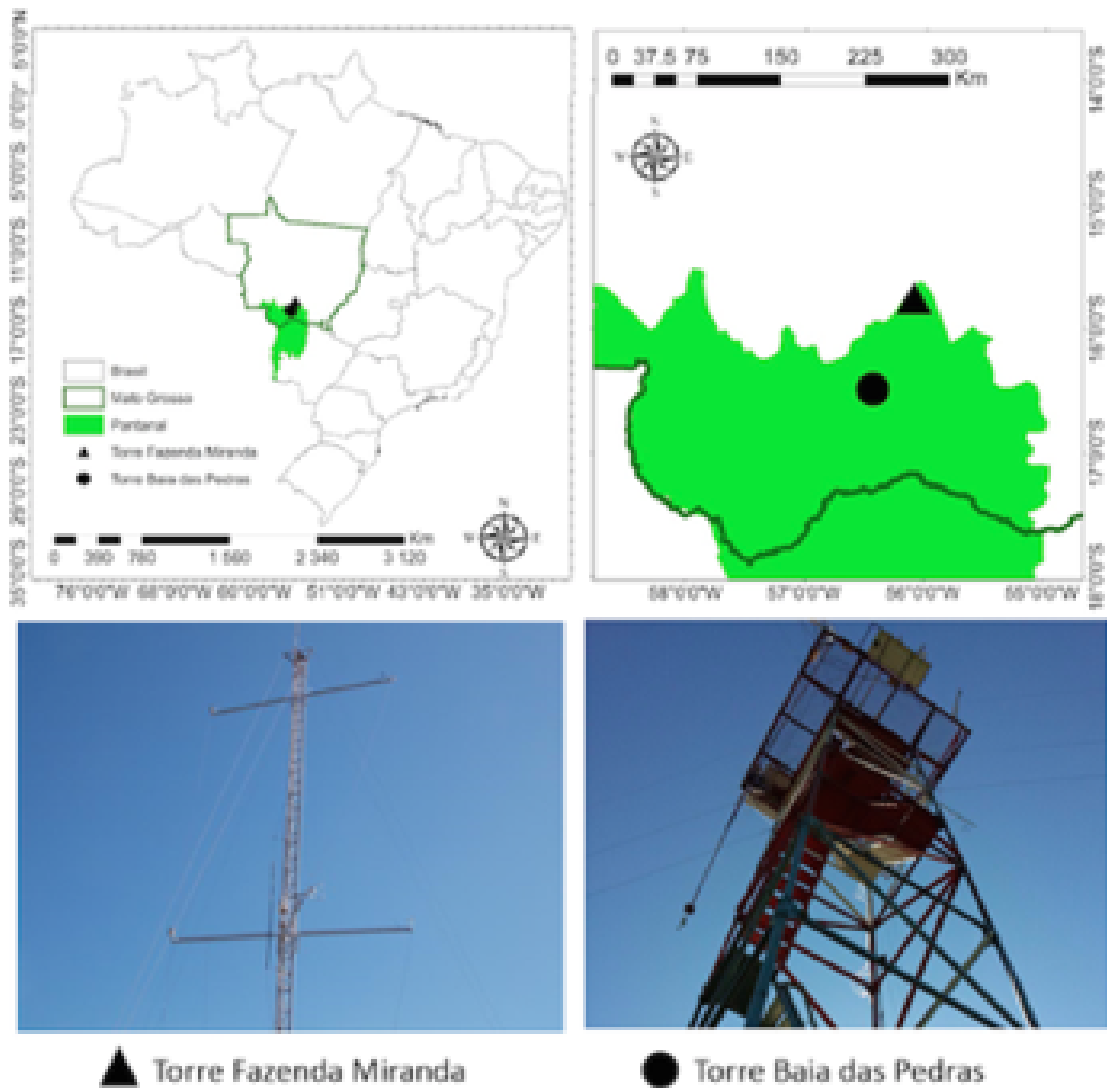


Figura 11: A figura mostra um mapa com a localização das duas torres do PGFA, torre da Fazenda Miranda(Cerrado) e torre da Baía das Pedras(Pantanal)

do Comércio (SESC-Pantanal), situada no município de Barão de Melgaço - MT ($16^{\circ}39$ Sul; $56^{\circ}47$ Oeste), distante cerca de 160km de Cuiabá, pode ser vista na figura 11 (círculo sólido).

É uma região complexa, como todas as planícies de inundação que apresenta funcionamento dinâmico característico, e específicos comportamento hidrológico, com período de chuva e inundação, normalmente nos meses outubro a abril, e período de vazante seguido de seca, do mês de maio a setembro (Rebellato e Cunha, 2005).

3.2 Instalação do SO no Raspberry Pi

Diferentemente dos computadores convencionais a instalação do Sistema Operacional (SO) no Raspberry pi, é muito simples e direta, não requer instalação de nenhum driver. A distribuição que utilizamos neste trabalho foi a Raspbian que é uma das distribuições oficiais do fabricante. Trata se de um SO baseado no Linux Debian, um dos mais conhecidos e utilizados Sistema Operacional.

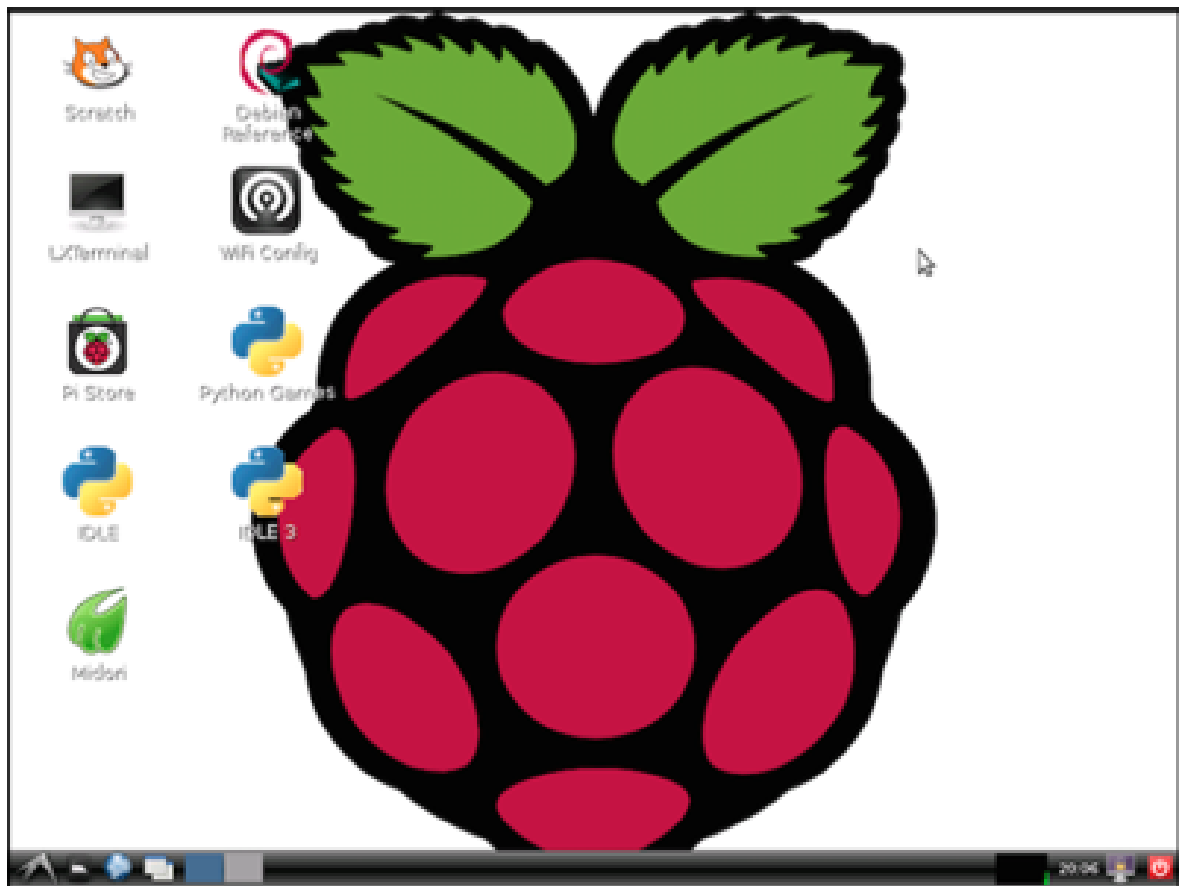


Figura 12: A figura mostra um exemplo da tela inicial do sistema raspbian em execução.

O raspberry não dispõe de disco rígido, ele trabalha com cartão de memória flash modelo SD, recomendamos que seja de tamanho mínimo de 8GB. O sistema operacional, disponível gratuitamente para download ³, pode ser montado no cartão SD por qualquer sistema operacional como windows, linux, MacOS etc. Após a montagem da imagem no cartão de memória, o sistema estará pronto para ser usado. A figura 12 mostra a tela inicial do raspbian instalado. Após a primeira inicialização do sistema, é necessário

³<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>

executar a busca de atualizações do sistema, antes de iniciar a instalação do EPICS e os scripts para o datalogger. Os comandos de atualização realizados foram:

```
1 $ sudo apt-get update // atualiza a lista de pacotes
2 $ sudo apt-get upgrade // instala as atualizacoes
3 $ sudo rpi-update // atualiza o firmware
```

Ao final da instalação é importante reiniciar o Raspberry Pi.

3.3 Instalação do EPICS

A instalação do Epics no Raspberry pi, foi feita seguindo as instruções de suporte para a instalação no SO Debian Linux. No entanto alguns ajustes devem ser feitos pela diferença de arquitetura que o Raspberry possui em relação a um PC x86, veremos as mudanças a seguir.

Para este trabalho, utilizamos o pacote base EPICS versão 3.14.12.5, sendo esta a ultima versão estável no momento da pesquisa. É importante buscar instalar a versão mais recente que contém melhorias e correções de falhas, disponível no site do Argonne National Laboratory ⁴.

O Raspberry Pi pode ser utilizado diretamente conectado a um monitor, teclado, mouse e internet. Ou remotamente pelo terminal via SSH. Uma vez acessado o Raspberry pelo terminal de comando, é necessário preparar o local que será instalado o EPICS, criando a pasta na raiz do usuário Apps/epics e um link simbólico em /usr/local, da seguinte forma:

```
1 $ cd ~
2 $ mkdir -p /home/pi/Apps/epics
3 $ sudo su
4 # cd /usr/local
5 # ln -s /home/pi/Apps/epics
6 # exit
7 $ cd /home/pi/Apps/epics
```

⁴<https://www.aps.anl.gov/epics/download/base/baseR3.14.12.5.tar.gz>

Foi feito o download do pacote base EPICS dentro da pasta criada, na sequência descompactamos o pacote base e criamos um link simbólico da pasta do pacote, para que seja identificado pelo nome de, apenas, base. Isso garante que a instalação encontrará os caminhos originais do pacote, mas o usuário não precisa lembrar de todo o caminho, apenas do nome "base". Realizado da seguinte forma:

```

1 $ wget https://www.aps.anl.gov/epics/download/base/baseR3
   .14.12.5.tar.gz
2 $ tar xzf baseR3.14.12.5.tar.gz
3 $ ln -s ./base-3.14.12.5 ./base

```

O EPICS pode ser instalado em muitos sistemas operacionais e diferentes arquiteturas. Cada instalação é direcionada pela variável de ambiente *EPICS_HOST_ARCH*. Para o Raspberry Pi foi necessário determinar estas definições da seguinte forma:

```

1 $ export EPICS_HOST_ARCH='/usr/local/epics/base/startup/
   EpicsHostArch '
2 $ export EPICS_HOST_ARCH=$(/usr/local/epics/base/startup/
   EpicsHostArch)

```

O passo a seguir se com todos os anteriores corretos deve demorar entre 40 a 120 minutos, dependendo da versão do Raspberry Pi e classe de memória SD que foi utilizado.

```

1 $ cd ~/Apps/epics/base
2 $ make

```

Para o uso das ferramentas do Epics ficar mais simples, foi feito as seguintes declarações no ambiente do usuário pi (*/.bash_aliases*):

```

1 export EPICS_ROOT=/usr/local/epics
2 export EPICS_BASE=${EPICS_ROOT}/base
3 export EPICS_HOST_ARCH='${EPICS_BASE}/startup/EpicsHostArch '
4 export EPICS_BASE_BIN=${EPICS_BASE}/bin/${EPICS_HOST_ARCH}
5 export EPICS_BASE_LIB=${EPICS_BASE}/lib/${EPICS_HOST_ARCH}
6 if [ "" = "${LD_LIBRARY_PATH}" ]; then
7 export LD_LIBRARY_PATH=${EPICS_BASE_LIB}

```



```

8 else
9 export LD_LIBRARY_PATH=${EPICS_BASE_LIB}:${LD_LIBRARY_PATH}
10 fi
11 export PATH=${PATH}:${EPICS_BASE_BIN}

```

Dessa forma o Raspberry Pi está preparado para utilizar o EPICS para controle e monitoramento de equipamentos.

3.4 Instalação do PyEPICS

Uma das formas eficientes gerenciamento utilizando o EPICS no Raspberry Pi através de uma linguagem de programação como por exemplo as linguagens, como C, C++, Java, etc. Nós escolhemos para este trabalho utilizar as linguagens de programação Python e Shell Scripts, pela familiaridade e grande aplicação em Física Ambiental. Para tanto, os desenvolvedores do EPICS mantém uma biblioteca para facilitar a programação em python com o EPICS, a biblioteca PyEpics. Os pacotes necessários para a instalação dessa biblioteca foram:

```

1 sudo apt-get install python-setuptools ipython
2 sudo easy_install -U PyEpics

```

As bibliotecas de suporte do EPICS (libcom e libCom) necessitaram de redirecionamento.

```

1 sudo cd /usr/local/lib/python2.7/dist-packages/pyepics-3.2.1-py2
   .7.egg
2 sudo cp /home/pi/Apps/epics/base-3.14.12.5/lib/linux-arm/libca.so
   .3.14 ./
3 cp /home/pi/Apps/epics/base-3.14.12.5/lib/linux-arm/libCom.so
   .3.14 ./
4 sudo ln -s libca.so.3.14 libca.so
5 sudo ln -s libCom.so.3.14 libCom.so

```

3.5 Ambiente de Controle

O ambiente gráfico de controle e monitoramento pode ser criado a partir de qualquer ferramenta destinada a este fim. Escolhemos o CSS (control System Studio)⁵ que é um plugin para o ambiente Eclipse e ambos os softwares são de código aberto e muito eficientes. Na Figura 13 podemos ver o exemplo da aplicação CSS, que além de ser um plugin desenvolvido para se comunicar com as aplicações EPICS, tem a característica muito simples de ser um editor *WYSIWYG* (*What You See Is What You Get*). O CSS não requer instalação, necessita somente que seja executado após o download ⁶.

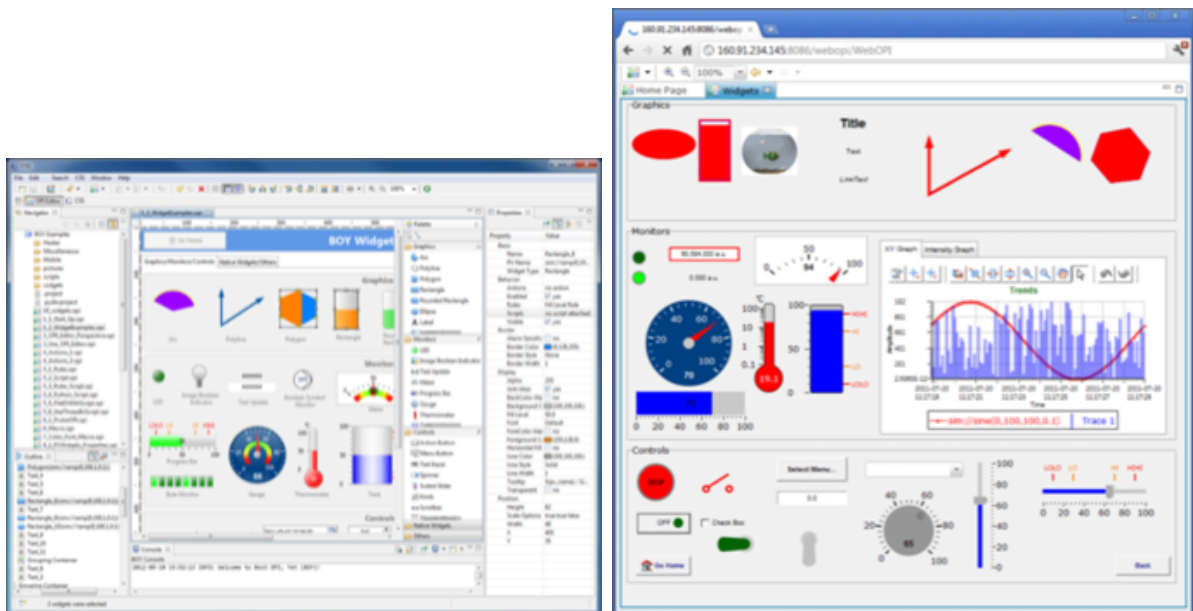


Figura 13: A primeira figura corresponde a tela do programa CSS e a segunda ao exemplo de ambiente de controle integrado com o epics.

3.6 Componentes Eletrônicos

A proposta deste trabalho de equipamentos alternativos, visa principalmente diminuir os custos, sem comprometer a qualidade do trabalho experimental. Isso cria um compromisso trabalhoso de pesquisa pelas partes fundamentais do equipamento que

⁵<http://www.aps.anl.gov/epics/eclipse/>

⁶<http://www.aps.anl.gov/epics/eclipse/>

vamos desenvolver. Foi ainda direcionado o levantamento de equipamentos que tivessem bibliotecas disponíveis para programação de comunicação com a linguagem python.

3.6.1 Conversores Analógico Digital (ADC)

Um componente essencial em um datalogger, são portas analógicas. Em dataloggers comerciais é comum encontrar portas analógicas com resolução de 12bits, no entanto, utilizamos neste trabalho conversores analógico digital de 18bits da marca Microchip. O ADC utilizado para medidas diferenciais foi o conversor Microchip MCP3424 A/D, que contém 4 entradas analógicas Diferenciais. Podemos usar até oito chips ADC, somando um total de 32 entradas analógicas diferenciais, no mesmo equipamento, esses componentes novos apresentam alta sensibilidade. O MCP3424 pode ser ligado diretamente ao Raspberry Pi usando a porta GPIO. A figura 14 mostra o chip MCP3424, informações mais detalhadas e especificações eletrônicas podem ser encontradas no manual do fabricante Microchip ⁷.

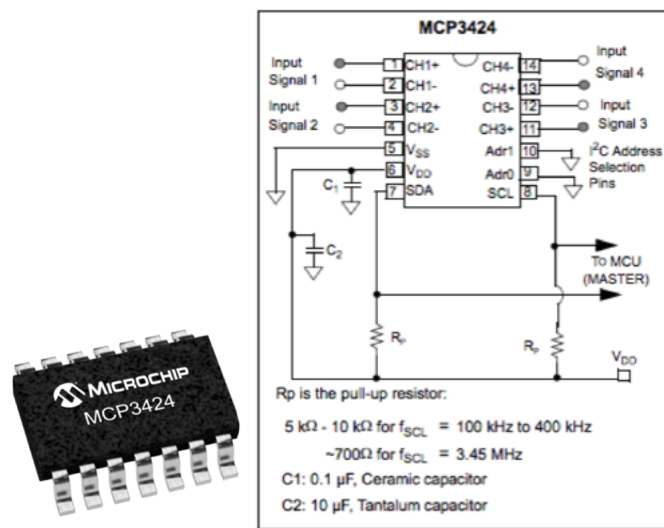


Figura 14: Desenho esquemático do ADC *MCP3424*⁵ e o esquema de ligação eletrônica.

Foi necessário projetar uma placa de circuito para conectar o ADC ao raspberry pi através do protocolo I^2C , e adicionar as conexões de entradas analógicas para o ADC, esse conjunto Raspberry Pi, Sistema de Controle e entradas analógicas, são as partes principais

⁷<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22088c.pdf>

que configuram um datalogger alternativo baseado em computador. Foram montadas em bancada, no Laboratório de Instrumentação do PGFA, as placas com o ADC para testar as portas Analógicas Diferenciais. Na figura 15 mostramos a montagem de um prototipo com conectores para a entrada do sinal de sensores, dos canais do ADC.

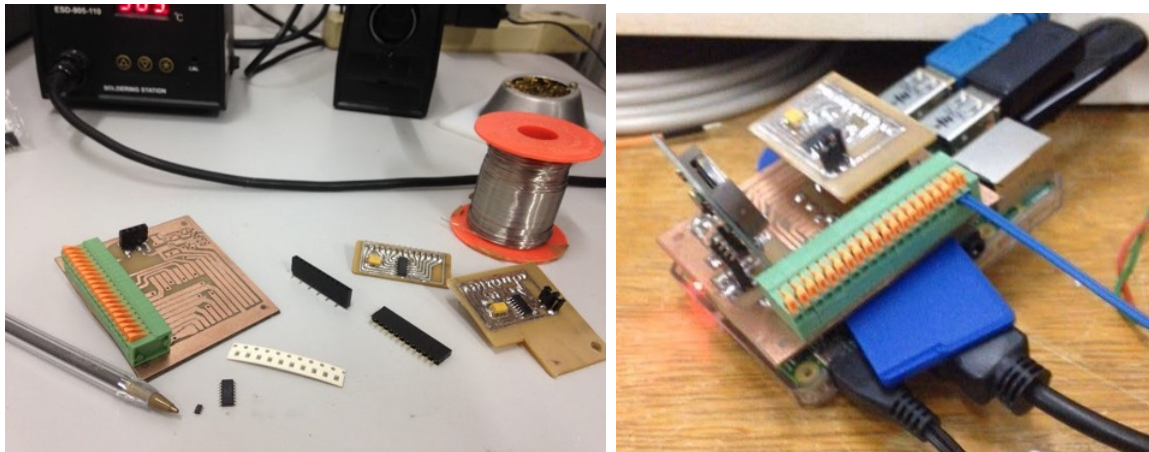


Figura 15: montagem do protótipo dos ADC's e conectores para testes em bancada, já conectado ao Raspberry Pi.

3.6.2 Placa Termoelétrica

Para construção do medidor de fluxo de calor no solo utilizamos pastilha termoelétrica (peltier), mostrada na figura 16 modelo *TEC – 112706* da Acel Components, dimensões $40 \times 40 \times 4 \text{ mm}$ tensão máxima de $15,2 \text{ V}$, corrente máxima 6 A e potência de 91 Watts . O funcionamento geral do Peltier, se dá aplicando uma tensão nos terminais, a placa transfere o calor de um lado para o outro do peltier de forma que entre os lados da placa, tenha uma diferença de temperatura de aproximadamente 20° C (Snyder e Toberer, 2008).

No entanto, a célula peltier foi utilizada de forma inversa, onde ao ser submetida a um fluxo de calor, positivo ou negativo, será gerado uma diferença de potencial nos terminais, proporcional ao fluxo de calor. Na figura é mostrada a pastilha termoelétrica utilizada.

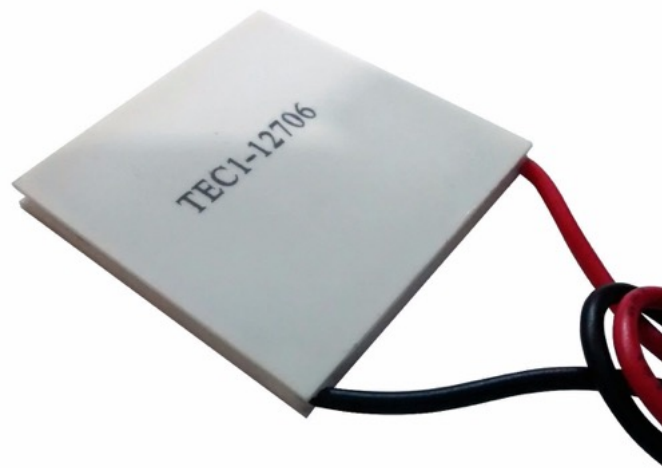


Figura 16: Pastila termoelétrica, comumente conhecida como peltier.

3.6.3 Sensor de Temperatura e Umidade

O elemento sensor de umidade e temperatura utilizado nos abrigos desenvolvidos foi o DHT22 que apresenta um range de medidas, temperatura ($-40^{\circ}C$ até $125^{\circ}C$) e UR (0 a 100%), importantes para medidas ambientais, de baixo custo e com bibliotecas disponíveis para a programação em Python. O sensor utilizado pode ser visto na figura 17.

Especificações do DHT22.

- . Fonte de alimentação: 3,3 V - DC 6V;
- . sinal de saída: single-bus;
- . elemento sensor: umidade (polímero capacitor e DS18B20);
- . faixa de medição: umidade 0 – 100% RH/temperatura de $-40^{\circ}C$ - $125^{\circ}C$;
- . Precisão: umidade 2% / temperatura $0,2^{\circ}C$;
- . Período de detecção: 2s;

3.6.4 Termômetro Digital

O sensor de temperatura que foi adicionado ao medidor de fluxo de calor foi o termômetro digital DS18B20, mostrado na figura 18, fornece medidas com 9-bit a 12-bit, na escala Celsius e tem um alarme função programável pelo utilizador de máximo e mínimo. O DS18B20 comunica através de um barramento 1-Wire que, por definição,

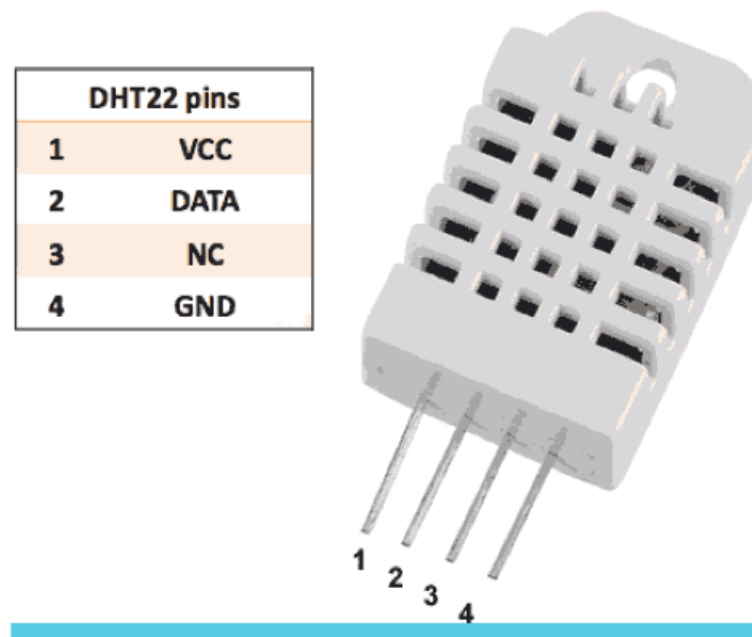


Figura 17: O elemento sensor de baixo custo utilizado para medir a umidade relativa do ar e temperatura do ar.

requer apenas uma linha de dados. Cada DS18B20 tem um código de série exclusivo de 64 bits, permitindo que múltiplos sensores sejam ligados no mesmo fio ⁸.

Especificações⁶:

- . Único 1-Wire® interface requer apenas uma porta Pin para a Comunicação;
- . Reduzido o número de componentes com Integrado Sensor de Temperatura e EEPROM;
- . mede temperaturas de $-55^{\circ}C$ a $+125^{\circ}C$;
- . $0,5^{\circ}C$ Precisão de $-10^{\circ}C$ a $+85^{\circ}C$;
- . Programável, resolução de 9 bits para 12 bits;
- . Modo de Energia Parasita requer apenas 2 pinos para Operação (DQ e GND);

3.7 Desenvolvimento de Sensores Alternativos

Para a pesquisa em micrometeorologia, temos algumas variáveis fundamentais que precisam ser medidas em longas séries temporais para a análise do comportamento de uma região, validação de modelos e outros métodos de longa distância.

⁸<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

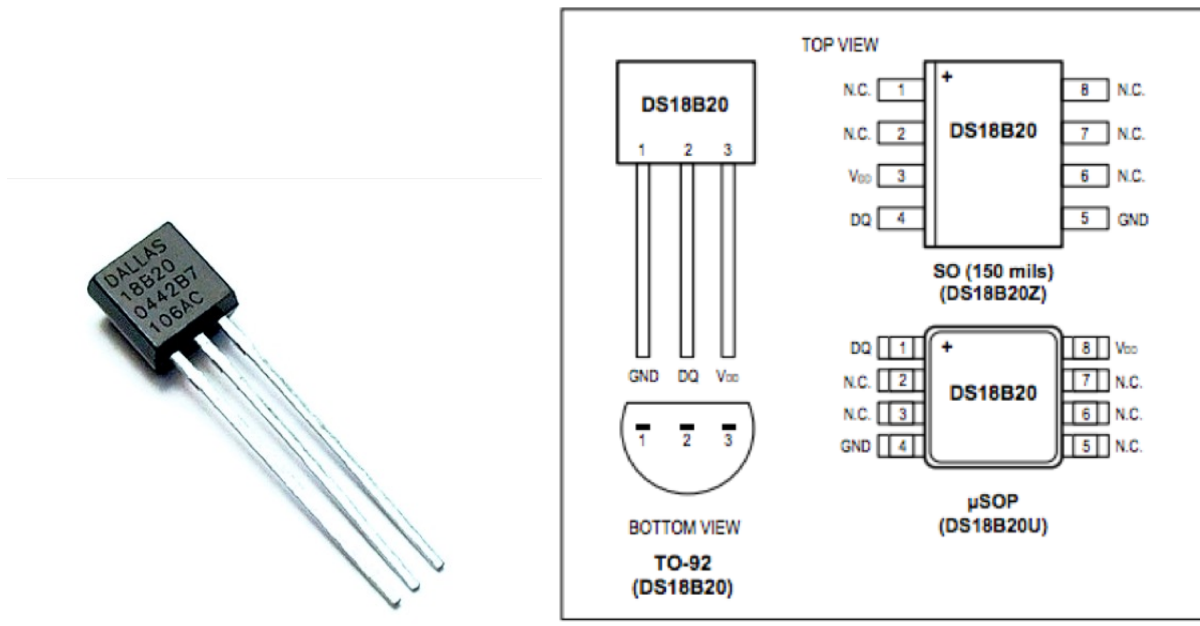


Figura 18: Sensor de temperatura ds18b20 usado juntamente com o peltier para medir a temperatura, ao lado direito o esquema eletrônico do ds18b20.

Os sensores mais comuns e necessários são de temperatura e umidade, tanto do ar como para o solo, quando encontrado no mesmo equipamento, o sensor de temperatura e o sensor de umidade relativa do ar, são comumente conhecido pelo nome de termohigrômetro.

Na literatura encontra-se muitos trabalhos dedicados a construção de abrigos para termohigrômetros. Uma vasta variação de montagens com reutilização de embalagens, utilizando canos de PVC, madeira e utensílios domésticos (Neves et al., 2015). No entanto, a reprodução desses abrigos podem não ser trivial como por exemplo o fabricante parar ou mudar de design a embalagem usada. Nessa perspectiva, desenvolvemos um abrigo genérico alternativo para termohigrômetros a partir de um projeto em 3D para prototipadoras/imprensoras 3d, utilizando o material biodegradável PLA (poliácido láctico) (Ho et al., 1999).

A base para o desenvolvimento do abrigo foram as normas da Organização Meteorológica Mundial WMO (World Meteorological Organization) ⁹ que especifica as condições necessárias para que uma media seja considerada válida. O projeto foi feito utilizando

⁹http://www.wmo.int/pages/index_en.html

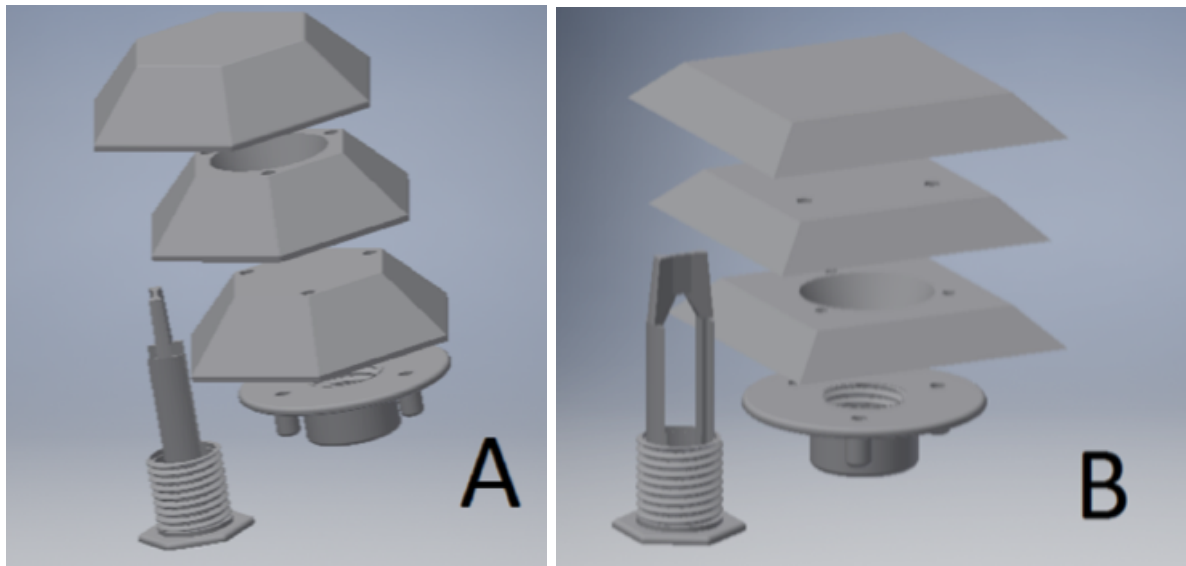


Figura 19: Esquema dos abrigos alternativos de termohigrômetros projetados em 3d. Foram feitos dois modelos, A e B,.

um software CAD para projetos mecânicos em 3D, os desenhos podem ser vistos na figura 19, e os protótipos foram fabricados em prototipadora/imprensa 3D e montados como mostrado na figura 20. O material testado foi o PLA ou (poli ácido láctico) é um polímero biodegradável (Ho et al., 1999).

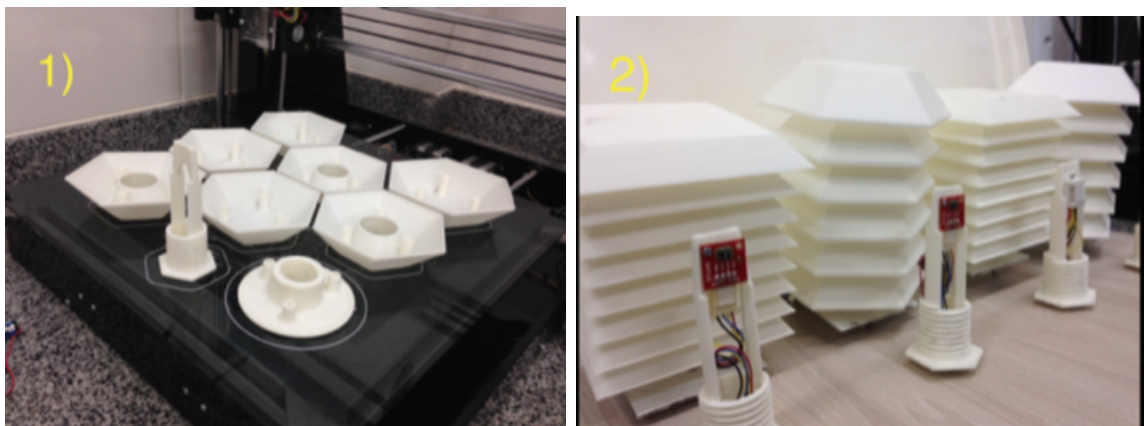


Figura 20: A imagem 1), mostra as peças ainda na mesa da impressora 3d, e a imagem 2) os abrigos montados.

Os termohigrômetros alternativos foram instalados nas dependências do PGFA-UFMT para testes e posteriormente serem instalados na Torre Micrometeorológica da Fazenda Miranda.

Também foi desenvolvido um sensor que, devido a falta de um produto comercial

com essas características, batizamos de TERMOFLUX. Trata-se de um sensor de fluxo de calor acoplado a um sensor de temperatura, que, normalmente são adquiridos separadamente. A motivação para construí-lo junto e não separadamente, surgiu da dificuldade durante a instalação desses dois sensores no campo, os mesmos precisam estar no mesmo nível dentro do solo.

O termoflux foi definido a partir da geometria da pastilha termoelétrica, deixando espaços para os fios e o sensor de temperatura DS18B20. Também foi feito o projeto 3d de um modelo que foi definido em função da forma da placa peltier. A figura 21 mostra o projeto em 3d do termoflux. Todo o protótipo, também foi fabricado em impressora 3d no material PLA.

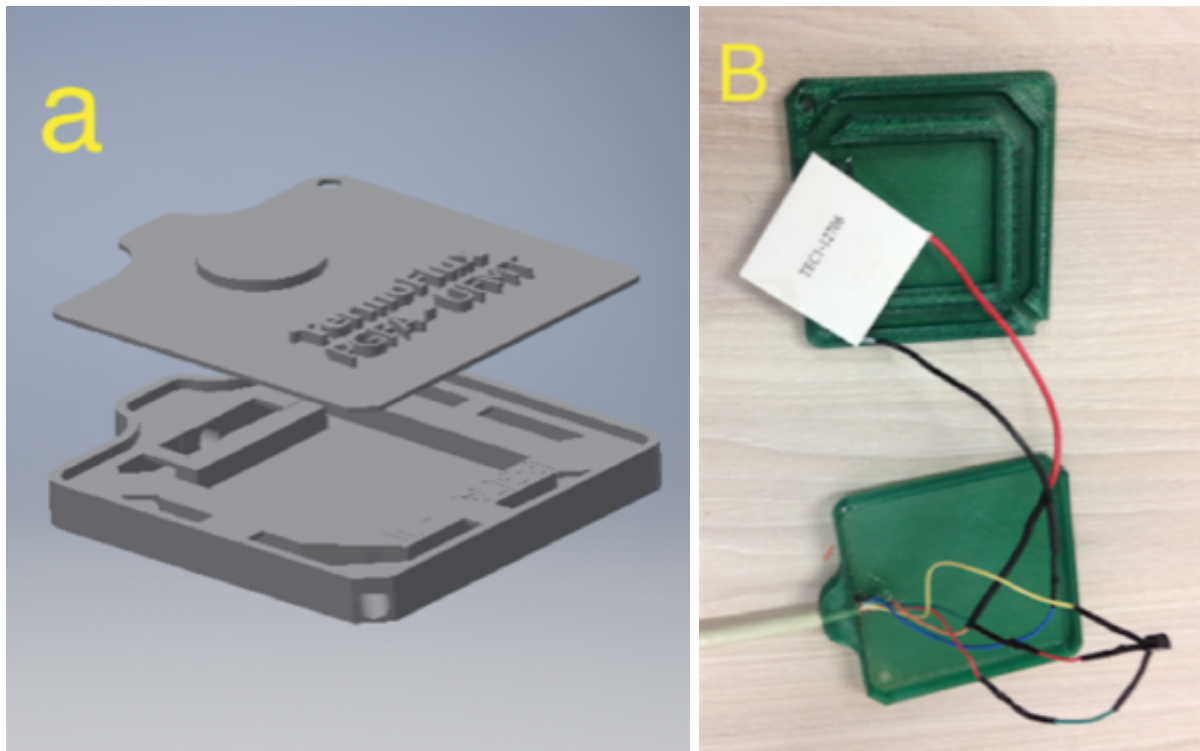


Figura 21: A imagem a) temos o projeto em 3d do sensor e na imagem B) o protótipo já fabricado recebendo os sensores de fluxo (peltier) e de temperatura (ds18b20)

A montagem do TERMOFLUX, necessitou a adição de pasta térmica nos dois lados da placa termoelétrica para que não haja perda ou atraso na passagem do fluxo de calor. E por fim, a placa foi colada em todas as extremidades para evitar deslocamento do encaixe do sensor. Mostramos na figura 21 o protótipo do TERMOFLUX utilizando

impressão 3d e montagem dos dois sensores de temperatura de de fluxo.

Após testes em laboratório, os protótipos dos sensores alternativos foram instalados no campo juntamente com sensores comerciais, adquiridos com certificado de calibração para poder verificar a consistência dos dados medidos pelos sensores alternativos, sendo possível fazer uma análise estatística por regressão linear.

Podemos ver na figura 22, os sensores de temperatura e fluxo de calor no solo, montados para os testes em bancada e na trincheira sendo instalados no campo, mais precisamente na torre micrometeorológica da Baía da Pedras (Pantanal).



Figura 22: As duas imagens superiores são os testes feitos em laboratório e as imagens inferiores a instalação no campo (Baía das pedras).

A figura 22A, vemos os sensores alternativos juntamente com os sensores comerciais calibrados para comparação das medidas. Na figura 22B, mostramos todos os sensores foram colocados dentro de uma caixa térmica com areia para medidas de fluxo em pro-

fundidades diferentes. Nas duas imagens C e D da mesma figura, temos os sensores sendo instalados em campo e as caixas com dataloggers, eletricidade e rede de comunicação.

Para verificar o desempenho do termoflux comparado ao fluxímetro comercial hukseflux (Campbell Scientific), realizou-se uma análise de correlação entre as leituras dos dois tipos de sensores e uma regressão linear para cada um deles.

4. Resultados e Discussão

4.1 Datalogger

Na proposta deste trabalho seguimos os passos para a elaboração de um datalogger alternativo de baixo custo baseado em computador. Os passos seguidos compreendem em:

- . Construção de circuito de conversor analógico digital ADC com entradas analógicas diferenciais.
- . A instalação do Software EPICS na placa de computador Raspberry Pi B+
- . Elaboração de um ambiente gráfico de monitoramento e controle utilizando o CSS.
- . Elaboração de programas em Python para interface entre circuito de ADC, sensores, o EPICS e ambiente gráfico.
- . Aplicar uma lógica de leitura e armazenamento e transmissão dos dados do datalogger alternativo.

Nessa perspectiva, foi construído e testado um circuito contendo oito canais ADC diferencial, utilizando dois chips MCD3424, com possibilidade de expansão para 32 canais. O resultado atual pode ser visto na figura 23 em duas versões e na configuração para instalação em campo.

Medidas de teste feito em bancada com fonte de tensão de precisão, onde fixou-se a tensão em fração de Volts o comportamento com o tempo foi linear para todos os canais. Não foram encontradas diferenças significativas entre os testes com o datalogger CR1000 Campbell Scientific e o datalogger alternativo baseado em PC, o ajuste linear através de regressão resultou em $R^2 = 0.9966$.

O consumo de energia medido durante a operação do datalogger foi de um pico de 700mA no momento que o equipamento é ligado, caindo para 200mA em modo de espera, passando a oscilar entre 220mA e 350mA durante as medidas que no caso foi a cada minuto. No momento que começa o envio dos dados o consumo vai para 500mA/h, voltando a 200mA quando termina. Neste caso o consumo de energia varia com a frequência de medidas e envio dos dados.



Figura 23: O datalogger alternativo, o circuito com os ADC's ligado ao raspberry pi e todos os softwares instalados em duas versões 8 canais e 16 canais, a montagem em caixa a prova d'água e testes com diversos sensores.

Os programas foram escritos na linguagem python para se comunicar com epics e iniciar as medidas, armazenamento e transmissão dos dados. Os scripts são iniciados automaticamente na inicialização do Raspberry Pi, através de um agendamento de tarefas do sistema operacional linux, chamado "crontab". Este processo segue uma lista, configurável, de comandos que são inicializados, de acordo com a escolha do operador.

Para a visualização, monitoramento e, até controle, foi desenvolvido um ambiente de monitoramento e controle utilizando o CSS conforme descrito na seção 3.5. Lembrando que este ambiente pode ser criado por vários softwares disponíveis, até mesmo em html. Na figura 24 podemos conferir alguns desses ambientes gráficos de visualização, monitoramento e/ou controle.

Também é importante ressaltar que para monitoramento estático sem nenhum tipo de interação com o experimento de controle, o ambiente gráfico de monitoramento pode ser criado com código html simples, conforme a figura 25.



Figura 24: Tela de ambientes gráfico de monitoramento em tempo real, totalmente integrado com o EPICS e datalogger alternativo baseado em PC.

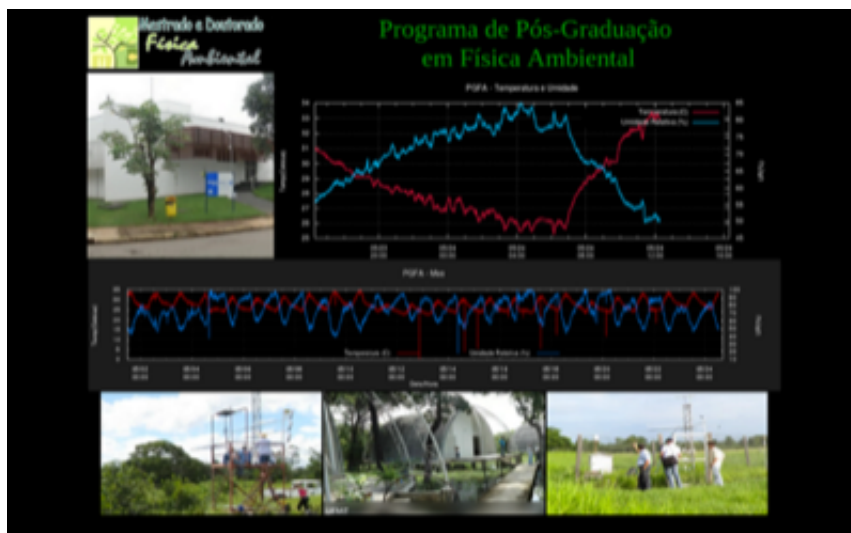


Figura 25: Tela de monitoramento estático criada em html.

4.2 Abrigos e Termohigrômetros Alternativos

Os sensores e abrigos alternativos de temperatura e umidade do ar, juntamente com sensores de referência com certificado de calibração, foram instalados, no campus da UFMT. As medidas apresentaram alta correlação com as medidas dos sensores de referência, indicando uma promissora possibilidade de utilização desses equipamentos testados. Podemos ver na figura 26 os sensores instalados no ambiente externo para avaliação dos dados, sendo os índices A e B referentes aos abrigos alternativos e C os abrigos proprietário.

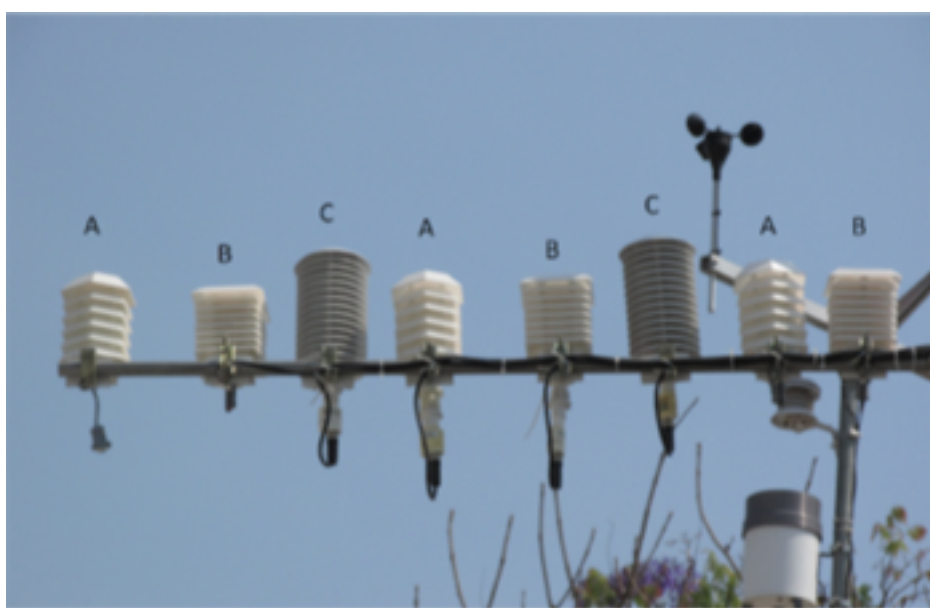


Figura 26: Na imagem temos os abrigos alternativos A e B juntamente com termohigrômetros de referência C), instalados no campo.

A análise de correlação dessas duas variáveis foram feitas para verificar a consistência das medidas realizados com os sensores desenvolvidos. Notamos que há uma alta correlação entre eles como pode ser visto na regressão linear realizada, mostrado na figura 27 para a temperatura do ar e figura 28 para a umidade relativa do ar.

De acordo com a análise mostrada nas Figuras 27 e 28, nota-se que não há diferenças significativas entre os dados obtidos pelos sensores de referência e os obtidos com o protótipo alternativo desenvolvido.

Para a análise dos abrigos desenvolvidos, foram realizados regressões lineares entre

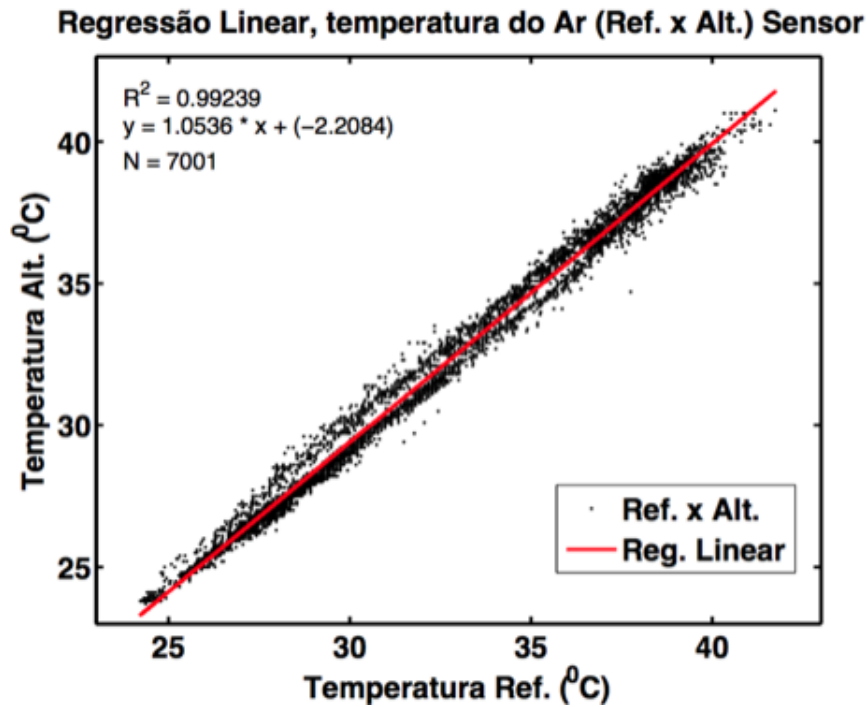


Figura 27: Regressão linear da temperatura do ar realizada a partir do sensor alternativo de o de referencia (VAISSALA)

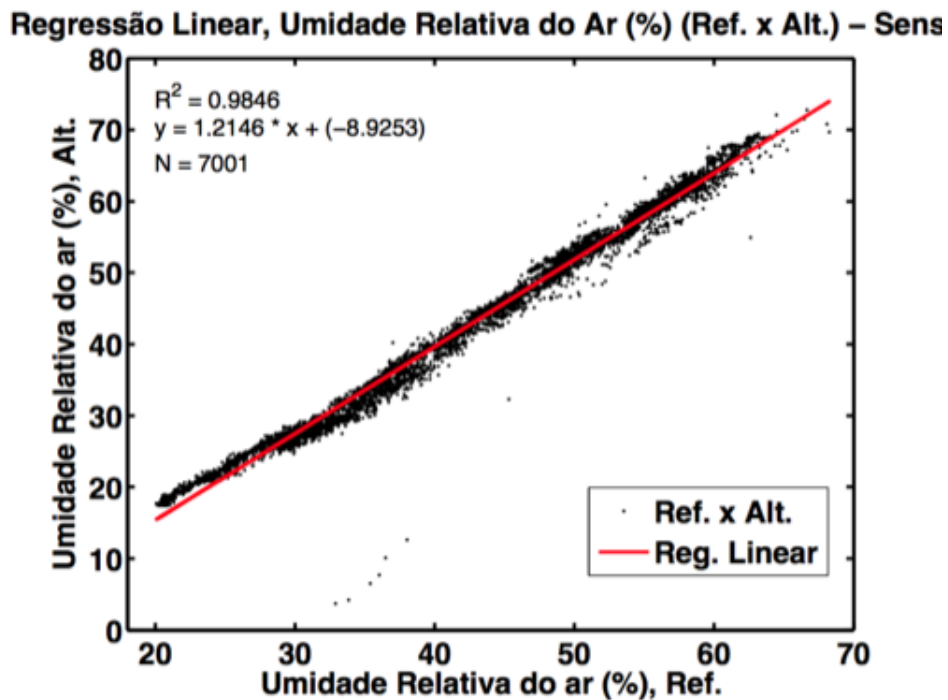


Figura 28: Regressão linear da umidade relativa do ar realizada a partir do sensor alternativo e o de referência (VAISSALA)

os abrigos alternativos e abrigos de referencia ambos com sensores comercial de referencia.

As regressões entre as temperaturas medidas com os abrigos (figura 29 e 30)

demonstraram que as leituras feitas apresentam similaridade entre os abrigos, Indicando que não existe diferença entre os modelos desenvolvidos e o comercial.

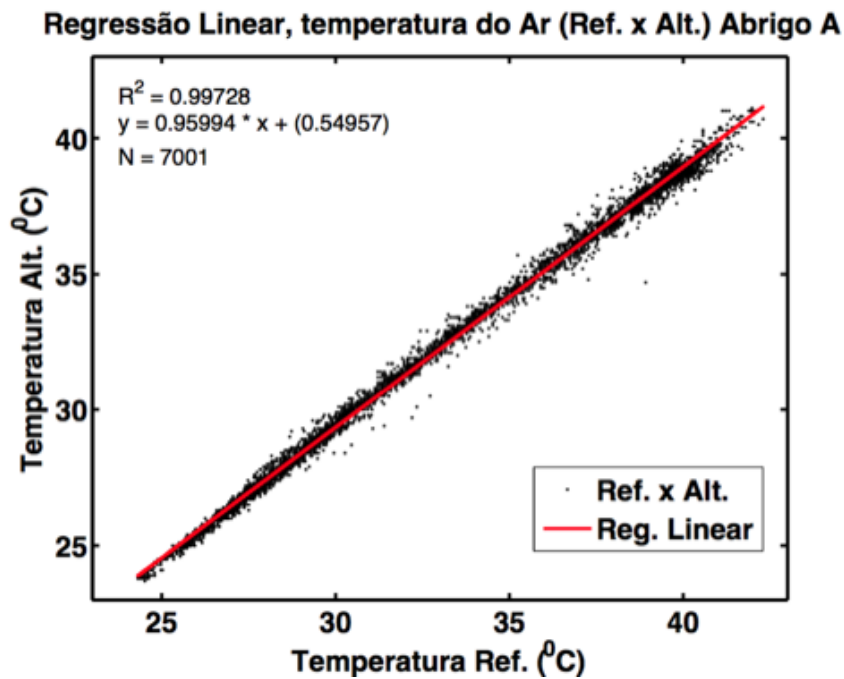


Figura 29: Regressão linear da temperatura do ar realizada a partir do abrigo alternativo A) de o de referência C) (VAISSALA)

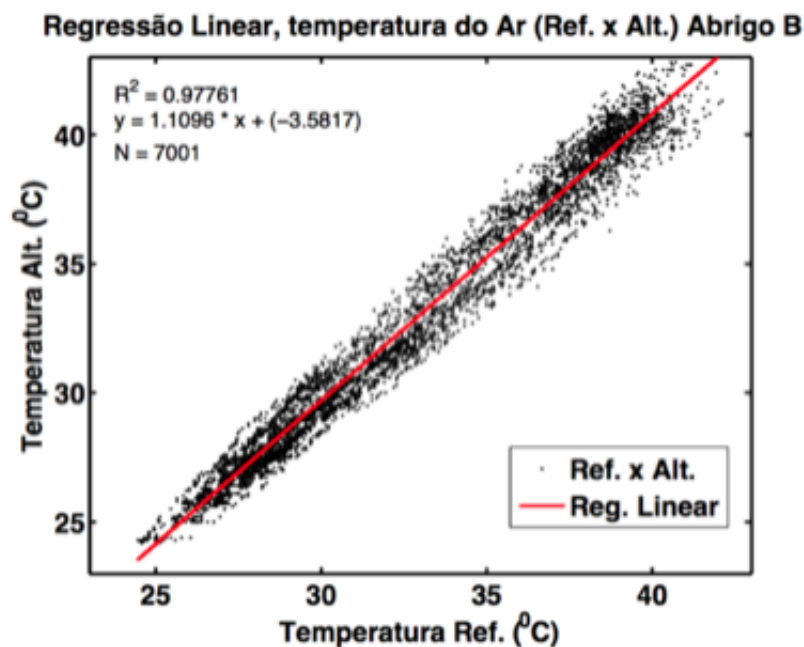


Figura 30: Regressão linear da temperatura do ar realizada a partir do abrigo alternativo B) de o de referência C) (VAISSALA)

Este resultado indica, que as medidas dos sensores alternativos analisados seguem

uma tendência muito aproximada, com as medidas dos sensores comerciais utilizados para pesquisa. É necessário realizar longos períodos de medidas, em todas as estações do ano, sem atenuação do sinal. Somente dessa forma, uma calibração seria válida. Estudos como esse, proporciona a expansão espacial de series temporais das variáveis para pesquisas ambientais.

4.3 Termoflux

Os sensores alternativos de temperatura e fluxo de calor no solo, juntamente com sensores de referência com certificado de calibração modelo Campbell Scientific, foram instalados, na localização da torre Baída das Pedras (Pantanal). O projeto desse tipo de sensor tem propósitos pesquisar essa região que permanece alagada parte do ano, o sucesso deste sensor alternativo vai proporcionar criar uma rede de medições não somente do fluxo de calor no solo, mas também na lâmina d'água durante os pulsos de inundação dessa região (Junk et al., 2006).

Os primeiros resultados do monitoramento do perfil de temperatura do solo e fluxo de calor em várias profundidades, a 1cm, 3cm, 7cm, 15cm e 30cm de profundidade foram muito animadores, visto que o monitoramento, principalmente, do fluxo com sensores comerciais em várias profundidades são escassos.

As medidas de temperatura e fluxo de calor do solo, em 5 profundidades, feitas pelo termoflux podem ser vistas na figura 31, 34 respectivamente.

As amplitudes térmicas do dia 28 de agosto de 2016, no período de 24 horas foi feito o gráfico a partir dos dados de temperatura em várias profundidades, fazendo o plote das temperaturas pela profundidade do sensor podem ser visualizadas na figura 35 e estão de acordo com o perfil encontrado no trabalho (Bellaver, 2010) para aquela região em 2008.

Determinar o coeficiente de correlação das variáveis, é a maneira mais direta para verificar o relacionamento entre duas medidas, o valor do coeficiente de correlação pode variar de menos 1 a mais 1, assim o coeficiente de mais 1 indica que a correlação linear é positiva e perfeita, desta forma, as variáveis em análise são iguais em termos de escores

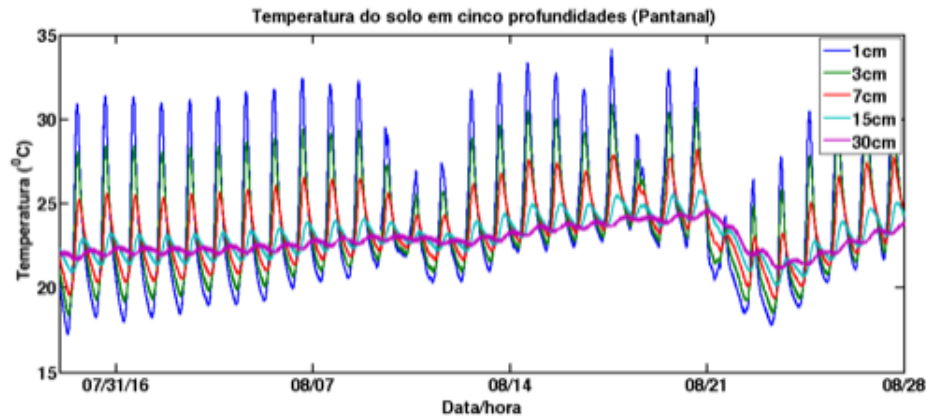


Figura 31: Temperatura do solo em 1,3,7,15,30cm de profundidade, medidas pelo sensor de temperatura do TERMOFLUX.

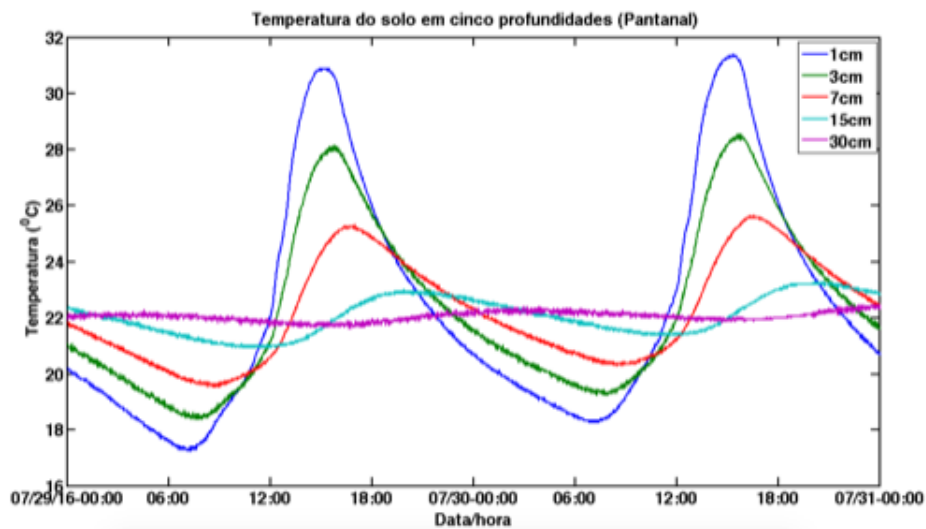


Figura 32: Temperatura do solo em 1,3,7,15,30cm de profundidade, medidas pelo sensor de temperatura do TERMOFLUX.

padronizados.

Os resultados da correlação feitos para o TERMOFLUX, nas medidas de fluxo de calor apresentaram bons resultados, uma alta correlação entre o alternativo e o fluxímetro comercial. Os valores da análise de correlação pode ser conferido na tabela 1 e figura 36.

As consistentes medidas de equipamentos desenvolvidos neste trabalho, soma resultados positivos a vários trabalhos que vem sendo pesquisados pelo grupo de instrumentação ambiental do PGFA. Os resultados prévios do datalogger aqui apresentado já foi suficiente para a aplicação em um sistema de perfil de CO_2 instalado na torre Baía das

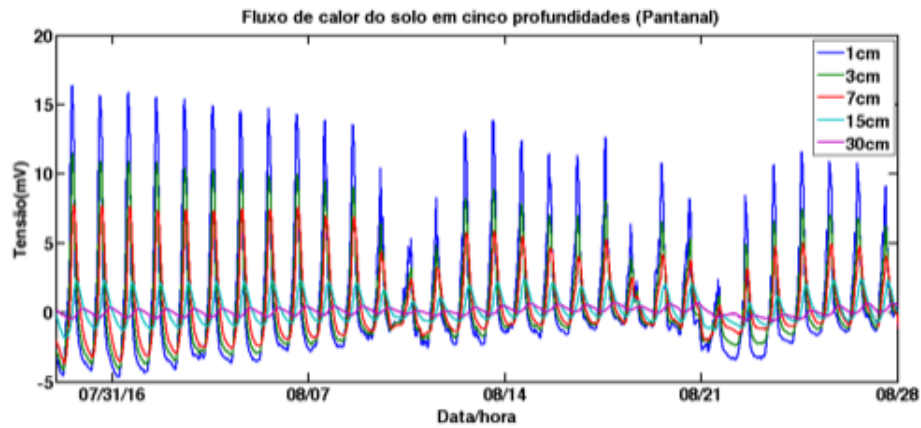


Figura 33: Fluxo de calor solo nas seguintes profundidades 1, 3, 7, 15, 30cm, medidas pelo fluxímetro do TERMOFLUX.

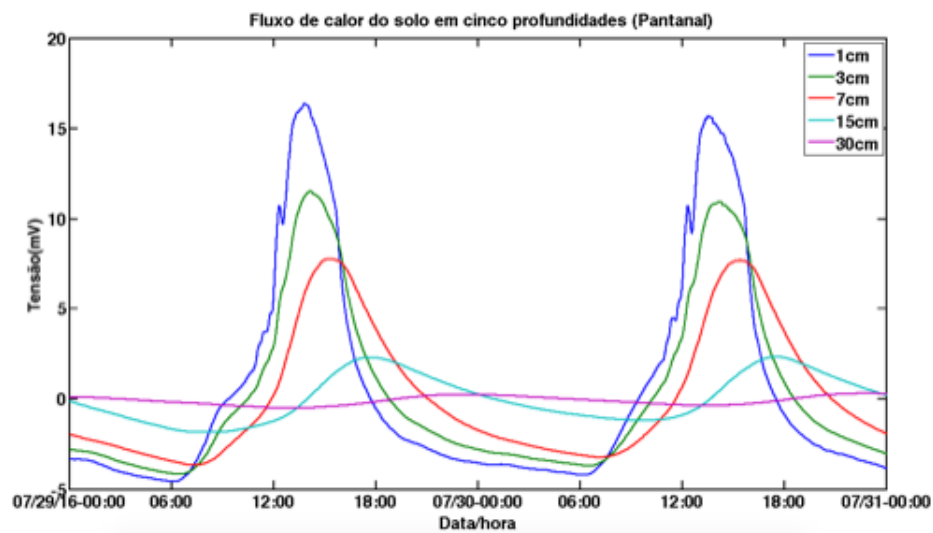


Figura 34: Fluxo de calor solo nas seguintes profundidades 1, 3, 7, 15, 30cm, medidas pelo fluxímetro do TERMOFLUX.

Análise de correlação: Alternativo x Comercial						
	Hukseflux 1	Hukseflux 2	Hukseflux 3	TermoFlux 1	TermoFlux 2	TermoFlux 3
Hukseflux 1	1					
Hukseflux 2	0.913272961	1				
Hukseflux 3	0.29515485	0.51777538	1			
TermoFlux 1	0.989699814	0.875805385	0.221762642	1		
TermoFlux 2	0.949218159	0.979381525	0.485399142	0.923800752	1	
TermoFlux 3	0.541081114	0.787694369	0.821522826	0.462733636	0.747224	1

Tabela 1: Análise de correlação entre os fluxímetros.

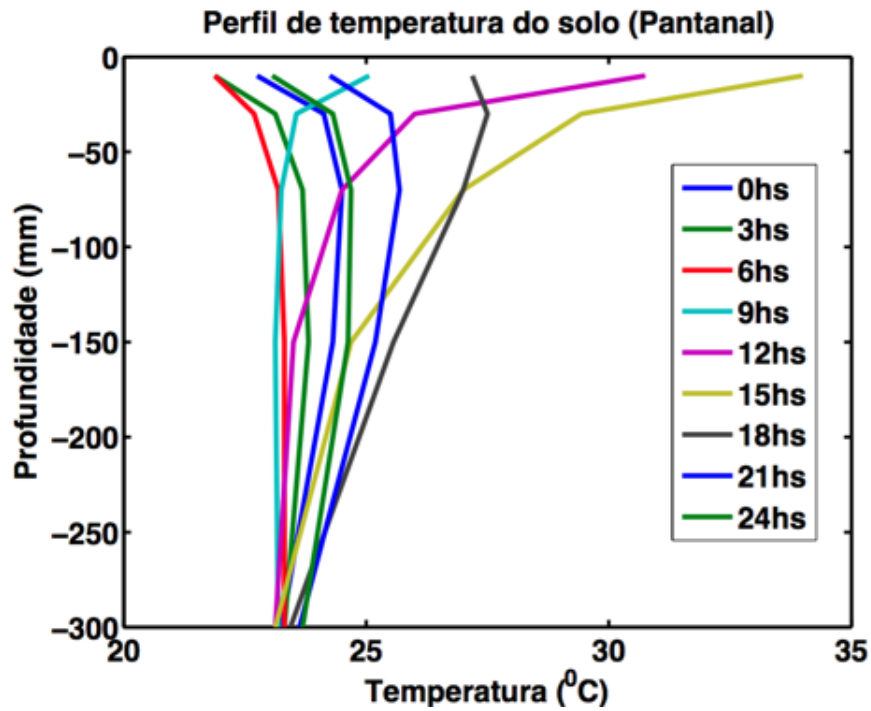


Figura 35: Perfil de calor solo, nas profundidades 1, 3, 7, 15, 30cm, medidas pelo sensor alternativo TERMOFLUX.

Regressão Linear, Fluxo de Calor no solo a 1cm, (mV) (Ref. x Alt)

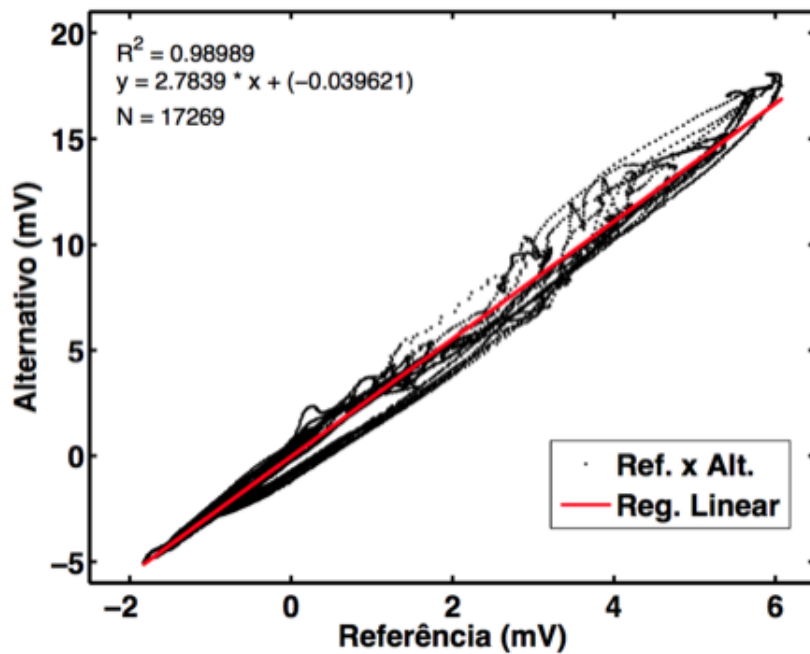


Figura 36: Regressão linear das medidas de fluxo de calor do solo, realizadas com o sensor alternativo e o de referência instalados a 1cm de profundidade.

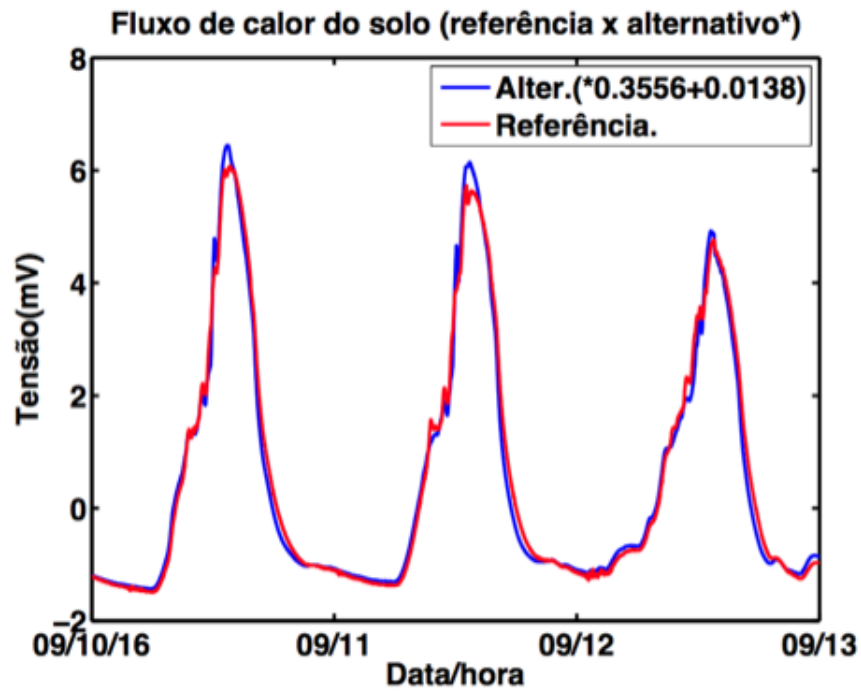


Figura 37: Gráfico das medida de referência juntamente com a medida do sensor alternativo, aplicado a equação do ajuste da Regressão linear da figura 36.

Pedras, esse é um exemplo que permite um indicativo da importância de estudar soluções alternativas.

5. Conclusões

O programa EPICS aplicado ao monitoramento e controle de equipamentos micrometeorológico tem grande potencial, sendo uma forte alternativa para vários programas proprietários, podendo integrar vários hardwares diferentes e compartilhamento de banco de dados.

O datalogger alternativo desenvolvido apresentou estabilidade, compatibilidade com sensores de várias marcas e os alternativos. Sua característica de ser baseado em Microcomputador trouxe uma enorme vantagem em relação aos datalogger convencionais no que se refere a capacidade de executar pré análises em tempo real e de conectividade.

Neste trabalho não foi possível explorar todo o potencial disponível para atuar como um datalogger.

O conversor analógico Digital ADC MCP3424 utilizado, não apresentou diferenças significativas nas medidas realizadas, em alguns casos tem maior sensibilidade comparado com datalogger tradicional utilizado.

Os abrigos para termohigrômetros fabricados em impressora 3D, apresentou alta concordância nas medidas comparadas.

Os sensores alternativos estudados, termohigrometro e TERMOFLUX apresentaram um bom desempenho, reproduzindo medidas de sensores comerciais calibrados, durante o período analisado. No entanto é recomendado que seja realizada análise de comparação com medidas de sensores calibrados, constantemente.

6. Trabalhos Futuros

- Aplicar o Datalogger alternativo baseado em computador para controlar e monitorar o sistema de Perfil de CO_2 .
- Utilizar os recursos do Datalogger alternativo para desenvolver um sistema de Eddy Covariance alternativo.
- Desenvolver módulos EPICS específico a micrometeorologia.
- Aplicar o TERMOFLUX para medidas da perfil de temperatura da lâmina d'água durante o alagamento no Pantanal.
- Avaliar o Abrigo e termohigrometro no período chuvoso.

7. Referências Bibliográficas

- Adámoli, J., Macedo, J., Azevedo, L. d., e Netto, J. M. (1986). Caracterização da região dos cerrados. *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, páginas 33–74.
- Alho, C. J. R. (2008). Biodiversity of the pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4):957–966.
- Arens, K. (1958). O cerrado como vegetação oligotrófica. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica*, páginas 57–77.
- ARRUDA, J., JORGE, A., PRIANTE FILHO, N., NOGUERIA, J., ALMEIDA FILHO, E., CAMPELO JÚNIOR, J., e VOURLITIS, G. (2006). Aplicação de três metodologias para estimar o fluxo de calor latente em floresta de transição. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3b):233–240.
- Baldocchi, D. D., Hincks, B. B., e Meyers, T. P. (1988). Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology*, 69(5):1331–1340.
- Barbalace, A., Manduchi, G., Neto, A., De Tommasi, G., Sartori, F., e Valcarcel, D. (2010). Performance comparison of epics ioc and marte in a hard real-time control application. In *Real Time Conference (RT), 2010 17th IEEE-NPSS*, páginas 1–5. IEEE.
- Bastos, L. A. e Ferreira, I. M. (2012). Composições fitofisionômicas do bioma cerrado: estudo sobre o subsistema de vereda. *Espaço em Revista*, 12(1).
- Bellaver, V. (2010). *Difusividade térmica do solo em área monodominante de cambará no norte do Pantanal Matogrossense*. Tese de Doutorado, Master dissertation, Federal University of Mato Grosso.

- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical review*, 27(6):779.
- Carvalho, P., Duarte, A., Pereira, T., Carvalho, B., Sousa, J., Fernandes, H., Correia, C., Gonçalves, B., e Varandas, C. (2011). Epics ioc module development and implementation for the isttok machine subsystem operation and control. *Fusion Engineering and Design*, 86(6):1085–1090.
- Clausen, M. e Dalesio, L. (2008). Epics: Experimental physics and industrial control system. *ICFA Beam Dyn. Newslett*, 47:56.
- Coutinho, L. M. (1978). O conceito de cerrado.(the concept of cerrado.). *Rev. Brasil. Bot*, 1(1):17–23.
- Dalesio, L. R., Hill, J. O., Kraimer, M., Lewis, S., Murray, D., Hunt, S., Watson, W., Clausen, M., e Dalesio, J. (1994). The experimental physics and industrial control system architecture: past, present, and future. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 352(1):179–184.
- Dalesio, L. R., Kraimer, M., e Kozubal, A. (1991). Epics architecture. In *ICALEPCS*, volume 91, páginas 92–15.
- Dalesio, L. R., Kraimer, M., Watson, W., e Clausen, M. (1996). Distributed software development in the epics collaboration. Technical report, Thomas Jefferson National Accelerator Facility, Newport News, VA (US).
- Dias Neto, J., Thomaz Júnior, J. C., Neto, U., e Fernandes, D. (2016). Mathematical adjustment method for validation of longwave radiation sensor measurements. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1):37–44.
- Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of brazil. *The Botanical Review*, 38(2):201–341.
- Goulden, M. L., Miller, S. D., Da Rocha, H. R., Menton, M. C., de Freitas, H. C.,

- de Sousa, C. A. D., et al. (2004). Diel and seasonal patterns of tropical forest co₂ exchange. *Ecological Applications*, 14(sp4):42–54.
- Grace, J. (2004). Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, 92(2):189–202.
- Hill, M. J., Hanan, N. P., Vourlitis, G. L., e da Rocha, H. (2010). Flux dynamics in the cerrado and cerrado–forest transition of brazil. In *Ecosystem Function in Savannas: Measurement and Modeling at Landscape to Global Scales*, páginas 97–116. CRC Press.
- Ho, K.-L. G., Pometto III, A. L., Gadea-Rivas, A., Briceño, J. A., e Rojas, A. (1999). Degradation of polylactic acid (pla) plastic in costa rican soil and iowa state university compost rows. *Journal of environmental polymer degradation*, 7(4):173–177.
- Jain, S., Vaibhav, A., e Goyal, L. (2014). Raspberry pi based interactive home automation system through e-mail. páginas 277–280.
- Junk, W. J. (2013). Current state of knowledge regarding south america wetlands and their future under global climate change. *Aquatic Sciences*, 75(1):113–131.
- Junk, W. J., Da Cunha, C. N., Wantzen, K. M., Petermann, P., Strüssmann, C., Marques, M. I., e Adis, J. (2006). Biodiversity and its conservation in the pantanal of mato grosso, brazil. *Aquatic Sciences*, 68(3):278–309.
- Keitel, R. (2001). Generating epics ioc databases from a relational database-a different approach. *arXiv preprint physics/0111048*.
- Kraimer, M., Anderson, J., Hill, J., e Norum, W. (2001). Epics: A retrospective on porting iocore to multiple operating systems. *arXiv preprint physics/0111041*.
- Lee, X. (1998). On micrometeorological observations of surface-air exchange over tall vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91(1):39–49.
- Leuning, R. e JUDD, M. J. (1996). The relative merits of open-and closed-path analysers for measurement of eddy fluxes. *Global Change Biology*, 2(3):241–253.

- LIMA, J. d. S., ANTONINO, A., LIRA, C., e SILVA, I. d. F. (2005). Estimativa da evapotranspiração em uma cultura de feijão caupi, nas condições do brejo paraibano. *Revista Agropecuária Técnica*, 26(02):86–92.
- Machado, R. B., RAMOS NETO, M. B., Pereira, P. G. P., CALDAS, E. F., Gonçalves, D. A., Santos, N. S., TABOR, K., e Steininger, M. (2004). Estimativas de perda da área do cerrado brasileiro. *Conservation International do Brasil, Brasília*.
- Moncrieff, J. B., Massheder, J., De Bruin, H., Elbers, J., Friborg, T., Heusinkveld, B., Kabat, P., Scott, S., Soegaard, H., e Verhoef, A. (1997). A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. *Journal of Hydrology*, 188:589–611.
- Monteith, J. e Unsworth, M. (2007). *Principles of environmental physics*. Academic Press.
- Moreno, G., O’Dowd, F., Slepicka, H., Bongers, R., e Cardoso, M. (2015). On-the-fly scans for fast tomography at Inls imaging beamline. these proceedings.
- Neves, G. A. R., de Souza Nogueira, J., Biudes, M. S., de Arruda, P. H. Z., Marques, J. B., e da Silva Palácios, R. (2015). Desenvolvimento e calibração de um termohigrômetro para uso em pesquisas de micrometeorologia, agrometeorologia e clima (development and calibration of a thermohygrometer for use in research micrometeorology, agrometeorology and climatological). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(1):136–143.
- Odagiri, J., Araki, S., Furukawa, K., Kamikubota, N., Kiyomichi, A., Nakagawa, H., e Nakamura, T. (2009). Application of epics on f3rp61 to accelerator control. In *this conference*.
- Odagiri, J., Chiba, J., Furukawa, K., Kamikubota, N., Katoh, T., Nakagawa, H., Yamamoto, N., Komiyama, M., Yokoyama, I., Song, H., et al. (2003). Epics device/driver support modules for network-based intelligent controllers. In *Proc. ICALEPCS*, páginas 494–496. Citeseer.

- Panahi, S. S., Ventosa, S., Cadena, J., Manuel-Lazaro, A., Bermúdez, A., Sallarès, V., e Piera, J. (2008). A low-power datalogger based on compactflash memory for ocean bottom seismometers. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(10):2297–2303.
- Pereira, J. A. A. e de Oliveira, C. A. (2005). Efeitos do eucalyptus camaldulensis sobre a colonização micorrízica e a nodulação em dimorphandra mollis e stryphnodendron adstringens, em brasilândia, minas gerais. *Cerne*, 11(4):409–415.
- PEREIRA, P. S. F. S. (1997). *Plantio de quatro espécies leguminosas arbóreas em uma área de Cerrado no Distrito Federal*. Departamento de ecologia da Universidade de Brasília.
- Pezzopane, J. R. M. e Júnior, M. J. P. (2003). Balanço de energia em vinhedo de ‘niagara rosada’. *Bragantia*, 62(1):155–161.
- Pi, R. (2012). Raspberry pi. *Raspberry Pi*, 1:1.
- Piton, J. R., Donadio, M. P., de Oliveira Omitto, D., Raulik, M. A., Westfahl Jr, H., e Yenikomochian, B. C. (2012). Hyppie: A hypervisorized pxi for physics instrumentation under epics. *MOPG031, Proc. BIW12*.
- Raspberry, P. (2015). Foundation. *Desenvolvido por Jack Lang, David Braben, Louis*.
- Rebellato, L. e Cunha, C. N. d. (2005). Efeito do “fluxo sazonal mínimo da inundação” sobre a composição e estrutura de um campo inundável no pantanal de poconé, mt, brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19(4):789–799.
- Ribeiro, J. e Walter, B. (2008). As principais fitofisionomias do bioma cerrado in: Sano, sm; almeida, sp; ribeiro, jf cerrado: Ecologia e flora. *Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF*, 1:406.
- Ribeiro, J. F., Almeida, S., e Sano, S. (2008). Cerrado: ecologia e flora. *Brasília, DF: Embrapa*.

- Ribeiro, J. F., Walter, B. M. T., Sano, S., e Almeida, S. d. (1998). Fitofisionomias do bioma cerrado. *Cerrado: ambiente e flora*.
- Richardson, M. e Wallace, S. (2013). Primeiros passos com o raspberry pi. *Primeira Edição. Novatec Editora Ltda*.
- RIZZINI, C. e PINTO, M. (1964). Areas climatico-vegetacionais do brasil segundo os metodos de thornthwaite e de mohr.; brazil climatic-vegetational areas by thornthwaite and mohr methods.
- Sampaio, C. A. d. P., Passos, E. F., Dias, G. P., e Correa, P. C. (1998). Desenvolvimento e avaliação de um anemometro de fio quente operando a temperatura constante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2(2):229–234.
- Satoh, M., Suwada, T., Furukawa, K., Hu, Y., Kudou, T., e Kusano, S. (2009). Epics ioc of windowsxp-based oscilloscope for fast bpm data acquisition system. *Proceedings of ICALEPCS2009, Kobe, Japan*, páginas 567–569.
- Shaahid, S. e Elhadidy, M. (1994). Ibm pc based data acquisition system for solar radiation station.
- Snyder, G. J. e Toberer, E. S. (2008). Complex thermoelectric materials. *Nature materials*, 7(2):105–114.
- Thompson, D. e Blokland, W. (2003). A shared memory interface between labview and epics. *Proceedings of ICALEPCS2003. Korea*, páginas 275–277.
- Upton, E. e Halfacree, G. (2014). *Raspberry Pi user guide*. John Wiley & Sons.
- Verma, S. B. (1990). Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. *Remote sensing reviews*, 5(1):99–115.
- Vourlitis, G. L., de Almeida Lobo, F., Biudes, M. S., Rodríguez Ortíz, C. E., e de Souza Nogueira, J. (2011). Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a invasion front in the brazilian pantanal. *Soil Science Society of America Journal*, 75(4):1554–1561.

Zeilhofer, P. e Schessl, M. (2000). Relationship between vegetation and environmental conditions in the northern pantanal of mato grosso, brazil. *Journal of Biogeography*, 27(1):159–168.