



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



Thiago Gonçalves Veiga Da Conceição

***Data Logger* para Utilização em Avaliação de Sistemas de
Irrigação**

Canoas, Dezembro de 2012



THIAGO GONÇALVES VEIGA DA CONCEIÇÃO

***Data Logger* para Utilização em Avaliação de Sistemas de Irrigação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Departamento:

Engenharia Elétrica

Área de Concentração

Instrumentação e Controle

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletr. André Luis Bianchi – CREA-RS: 089197-D

Canoas

2012



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do Autor: Thiago Gonçalves Veiga da Conceição

Matrícula: 021006859-0

Título: *Data Logger* para Utilização em Avaliação de Sistemas de Irrigação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletr. André Luis Bianchi

CREA-RS: 089197-D

Banca Avaliadora:

MSc. Eng. Eletr. Miriam Noemi Cáceres Villamayor

CREA: RS067231-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Dr. Eng. Eletr. João Carlos Vernetti dos Santos

CREA: RS045852-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Assinaturas:

Autor

Thiago Gonçalves Veiga Da
Conceição

Orientador

André Luis Bianchi

Avaliador

Miriam Noemi Cáceres Villamayor

Avaliador

João Carlos Vernetti dos Santos

Relatório Aprovado em:



DEDICATÓRIA

Gostaria de agradecer a Deus por me permitir estar hoje aqui, e realizar este trabalho. E também aos meus pais, minha irmã e a todas pessoas que sempre confiaram em mim.



AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram diretamente ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao Professor André Bianchi pelo apoio, esforço, dedicação nas orientações e por acreditar na realização deste trabalho.

Ao Professor Dalton Vidor pelas sugestões dadas no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Luís Espinosa Cocian pelo apoio para o desenvolvimento do trabalho.

E também ao colega e amigo Felipe Vargas que nos momentos difíceis quando pensei em desistir, me ajudou e apoiou para que este trabalho se tornasse realidade.



EPÍGRAFE

“Grandes realizações são possíveis quando se dá
importância aos pequenos começos.”

Lao-Tsé.



RESUMO

Da Conceição, Thiago Gonçalves Veiga. **Data Logger para Utilização em Avaliação de Sistemas de Irrigação**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2012.

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema para monitoração e registro das grandezas físicas que influenciam em sistemas de irrigação, tais como, temperatura, umidade relativa, tensão e corrente elétrica (potência). O propósito de projetar um equipamento de aquisição de dados é auxiliar em pesquisas ligadas à irrigação na agricultura, onde estas medidas são de extrema importância. Desta forma, o equipamento tem como principais funções medir e armazenar todas as informações coletadas pelos sensores, proporcionando ao usuário fazer posteriormente uma análise das mesmas em qualquer computador. Para isto, inicialmente, fez-se um levantamento das técnicas para efetuar as medições e coleta de dados. Alguns sensores foram utilizados para poder realizar este projeto, como: HIH-5031 para medir umidade, ACS712 para corrente, transformador para a tensão e um termopar tipo K para temperatura. Para cada grandeza a ser medida um circuito eletrônico condicionador de sinal foi desenvolvido com a finalidade específica de atender cada um dos sensores. O sistema de aquisição de dados, conhecido como *data logger*, controlado por um microprocessador, realiza as medidas e faz o armazenamento destas informações proveniente dos sensores em um cartão de memória do tipo SD, para a posterior análise quantitativa e qualitativa em um computador. O sistema tem erro relativo percentual nas medições da temperatura de 4,6%, na umidade 3%, na corrente 1,3% e 0,44% na tensão. O resultado é aceitável para medições com a finalidade de apoiar no controle da irrigação agrícola. Assim, é possível afirmar que o *data logger* desenvolvido efetua sua função de forma satisfatória e pode ser aplicado para a finalidade que foi proposta.

Palavras chave: Sensores. Circuito Eletrônico. Grandezas.



ABSTRACT

Da Conceição Gonçalves Thiago Veiga. **Data Logger for Use in Evaluation of Irrigation Systems**. Completion of course work in Electrical Engineering - Department of Electrical Engineering. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS. 2012.

The present work consisted in developing a system for monitoring and recording of physical quantities that influence irrigation systems, such as temperature, humidity, voltage and electrical current (power). The purpose of designing a data acquisition equipment is to assist in research related to irrigation in agriculture, where these measures are extremely important. Thus, the device's main functions measure and store all information collected by sensors, allowing the user to make further analysis of the same on any computer. For this, initially, we did a survey of techniques for making measurements and data collection. Some sensors were used in order to accomplish this project, such as: HIH-5031 to measure humidity, ACS712 for current, voltage transformer and a K-type thermocouple for temperature. For every grandeur to measure an electronic circuit signal conditioner has been developed with the specific purpose of meeting one of the sensors. The data acquisition system, known as the Data Logger, controlled by a microprocessor, performs the measurements and makes the storage of the information from the sensors into a memory card of the SD type, for subsequent qualitative and quantitative analysis on a computer. The system has a percentage relative error in temperature measurements of 4,6%, 3% in humidity, the current 1,3% and 0,44% in tension. The result is acceptable for measurements in order to assist in the control of agricultural irrigation. Thus, we can say that the data logger developed performs its function satisfactorily and can be applied for the purpose it was proposed.

Keywords: Sensors. Electronic Circuit. Quantities.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Irrigação por superfície na cultura do milho	4
Figura 2: Irrigação por aspersão.....	4
Figura 3: Irrigação localizada	5
Figura 4: Registrador Eletrônico de Umidade e Temperatura.....	6
Figura 5: Registrador Eletrônico de Temperatura	7
Figura 6: Bobina de Rogowski.....	8
Figura 7: Efeito Hall em um semicondutor sem presença de campo magnético aplicado.....	9
Figura 8: Efeito Hall em um semicondutor com presença de campo magnético aplicado.....	9
Figura 9: Visão interna do Circuito Integrado ACS712.....	10
Figura 10: Circuito do Diagrama de blocos interno do Sensor ACS	11
Figura 11: Nomenclatura dos pinos do componente	11
Figura 12: Circuito do Diagrama de um Trafo com núcleo de ferro	13
Figura 13: Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos primários	13
Figura 14: Trafo com tap Central.....	14
Figura 15: Circuito modelo de trafo ideal	14
Figura 16: Efeito Termoelétrico Seebeck.....	16
Figura 17: Efeito Termoelétrico Peltier	16
Figura 18: Demonstração da inserção do material C, com as junções a mesma temperatura, assim sua influência será nula no valor final da medição.....	18
Figura 19: Curva de Correlação F.E.M. x Temperatura dos Termopares.....	19
Figura 20: Sensor de umidade relativo resistivo UPS 500	24
Figura 21: Sensor de umidade relativa capacitivo HIH-5031	25
Figura 22: Gráfico da Tensão de saída do Sensor x Umidade Relativa.....	26
Figura 23: Memória SD Card.....	27
Figura 24: Conexão independente SPI.....	28
Figura 25: Conexão em cascata SPI	28
Figura 26: Pinagem PIC18F4550.....	29
Figura 27: Placa do Microcontrolador com Display 16x2.	32
Figura 28: Retificador de precisão com amplificador operacional	33
Figura 29: Circuito montado do Retificador de precisão com amplificador operacional	34
Figura 30: Circuito típico medidor de corrente com saída retificada.....	35
Figura 31: Circuito Montado medidor de corrente com saída retificada	35
Figura 32: Circuito Medidor de Temperatura.....	36
Figura 33: Circuito Montado medidor de temperatura.	37
Figura 34: Circuito Medidor de Umidade	38
Figura 35: Circuito Montado Medidor de Umidade.	38
Figura 36: Circuito do PIC com cartão de memória SD	39
Figura 37: Circuito Montado do PIC com cartão de memória SD.....	39
Figura 38: Circuito Montado da fonte alimentação dos hardwares do <i>Data Logger</i>	40
Figura 39: Imagem das informações gravadas no arquivo <i>Logger.txt</i> do Windows.	45



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes dos Termopares para o cálculo da Temperatura	20
Tabela 2: Limite de Erros dos Termopares.....	22
Tabela 3: Detalhes do PIC18F4550	30
Tabela 4: Tabela com ensaios para verificação de erro de temperatura.....	43
Tabela 5: Tabela com o 1° ensaio para verificação de erros de tensão.....	44
Tabela 6: Tabela com o 2° ensaio para verificação de erros de tensão.....	44
Tabela 7: Tabela com ensaios para verificação de erro de corrente.....	44



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CI	Circuito Integrado
ddp	Diferença de Potencial
PIC	Controlador Integrado de Periféricos
V_{DC}	Tensão em Corrente Contínua.
V_{CA}	Tensão em Corrente Alternada.



LISTA DE SÍMBOLOS

A	[Ampères]
B	[Campo Magnético]
Hz	[Hertz]
I	[Corrente Elétrica]
mV	[milivolts]
RF	[Rádio Frequência]
V	[Volts]
uF	[micro Faraday]
Ω	[Ohm]



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Irrigação	3
2.2. Data logger	6
2.3. Sensor de Corrente.....	7
2.4. Transformador de Potencial (TP)	12
2.5. Sensor Termopar	15
2.6. Medição de Umidade do Ar	22
2.7. Cartão de Memória SD	26
2.8. Microcontrolador PIC18F4550.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. Descrição Geral do Sistema Data Logger	31
3.2. Calibração dos Circuitos de Medição.....	40
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
APÊNDICE A – TABELA CIRCUITO MEDIDOR DE TENSÃO	49
APÊNDICE B – TABELA CIRCUITO MEDIDOR DE CORRENTE.....	50
APÊNDICE C – TABELA CIRCUITO MEDIDOR DE TEMPERATURA.....	51
ANEXO A – BOLETIM TÉCNICO DO EQUIPAMENTO CAPPO PLUS.....	52



1. INTRODUÇÃO

No ramo da engenharia elétrica, o desenvolvimento de soluções práticas, rápidas e objetivas são trabalhos que vem crescendo com o passar do tempo e, com isto, para um ou mais problemas tem-se chegado a uma solução com menor tempo. A irrigação agrícola é uma técnica que consiste na aplicação artificial de água nas plantações, através de métodos que melhor se adaptem ao solo e à cultura. Seu objetivo é proporcionar umidade adequada ao desenvolvimento normal das plantas, suprimindo a falta, a insuficiência ou a má distribuição das chuvas, com o propósito de incrementar a produção sem provocar impactos ambientais adversos. Para que isto ocorra de forma satisfatória, os sistemas de irrigação devem ser bem dimensionados e avaliados frequentemente.

Quanto ao dimensionamento, em função do alto custo de implantação, os produtores rurais investem capital em projetos de empresas especializadas. Tais projetos buscam a eficiência energética no âmbito da redução de custos relacionados ao consumo de energia elétrica. Isto é extremamente importante, pois os gastos energéticos com bombeamento são superiores a 5% do consumo elétrico do País [1]. Contudo, a questão de quantidade de água relacionada à produtividade ainda não está bem controlada, pois os modelos utilizados atualmente são arcaicos, às vezes passados de pai para filho e outras vezes com base científica, porém para modelos genéricos que às vezes não se encaixam bem na realidade do solo ou localidade avaliada.

Então, o problema proposto é “como avaliar os sistemas de irrigação de forma rápida e armazenar as informações a fim de traçar um perfil do consumo de água e produtividade”? Como resposta ao problema se propôs um projeto de pesquisa dividido em três partes: primeira, o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para sistemas de irrigação; segunda, o desenvolvimento de um sensor de umidade do solo com transmissão de dados via RF; e a terceira sobre a implementação de um sistema de irrigação automatizado para hortaliças. O presente trabalho trata da primeira parte do projeto.



Desta forma, o projeto aqui apresentado tem por objetivo monitorar quatro grandezas físicas utilizadas em sistemas de irrigação agrícolas. Tais grandezas são: temperatura ambiente, umidade relativa do ar, tensão e corrente elétricas (potência). Os dados obtidos são armazenados em uma memória do tipo SD para posterior utilização em programas computacionais a fim de traçar as relações e determinar a eficiência do sistema de irrigação.

Assim, com base na necessidade de avaliar os sistemas de irrigação, em função da qualidade, redução do consumo de água e energia elétrica, fez-se análise de como monitorar as grandezas físicas necessárias para determinar o bom funcionamento da irrigação. A partir disto, escolheu-se uma série de sensores que melhor se adequaram ao processo e controle desejado. Estes sensores, para os quais foram desenvolvidos circuitos eletrônicos são responsáveis por repassar as informações a um microcontrolador que faz o controle do sistema de aquisição de dados e, posteriormente, envia os dados a memória de armazenamento, um cartão tipo SD.

Este controle foi desenvolvido em linguagem C para que o microcontrolador recebesse e pudesse tratar todos os sinais dos circuitos eletrônicos de forma a medir todas as grandezas sem perder qualquer informação. Com isto, pode-se ressaltar que todas as informações medidas poderão ser salvas/armazenadas no cartão de memória SD e futuramente visualizadas em um computador.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No desenvolvimento de um sistema de aquisição e registro de dados, para uso na avaliação de sistemas de irrigação agrícola, alguns conhecimentos são necessários, como aqueles sobre sistema de irrigação, quais tipos existem e quais são os parâmetros para avaliação deles.

Além do conhecimento sobre os sistemas de irrigação, também, deve-se conhecer os sensores e condicionadores de sinal necessários para a aquisição e registro dos dados (*data logger*), referentes às grandezas físicas principais que envolvem o processo.

Para cada uma das grandezas físicas monitoradas podem-se citar alguns sensores/componentes ou metodologias, que em conjunto com circuitos eletrônicos, permitem medir o valor das mesmas:

- Para a Corrente Elétrica: Resistor Shunt, Bobina de Rogowski, Sensor Hall e outros;
- Para a Tensão: Transformador de Potencial, Divisor de Tensão e Sensores Semicondutores, exemplo: ADE7753;
- Para a Temperatura: Termopares, PT100, RTD e outros;
- Para a Umidade: Sensores de Umidade, Bulbo seco e úmido, Medição por princípio capacitivo, resistivo e condutividade térmica.

2.1. Irrigação

Denomina-se irrigação como uma técnica que tem como objetivo o fornecimento e distribuição de água para plantas em uma quantidade controlada e suficiente, assim, atendendo de forma satisfatória a produtividade e a sobrevivência da plantação na agricultura. Vale lembrar que a irrigação pode enriquecer o solo com a deposição de elementos fertilizantes [2].

2.1.1. Principais Métodos e Sistemas de Irrigação

Método de irrigação é a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Basicamente, são quatro os métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. Para cada método, há dois ou mais sistemas de irrigação, que podem ser empregados. A razão pela qual há muitos tipos de sistemas de irrigação é a grande variação de solo, clima, culturas, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para as quais o sistema de irrigação deve ser adaptado. [2]

No método de irrigação por superfície (Figura 1), a distribuição da água se dá por gravidade através da superfície do solo [2].



Figura 1: Irrigação por superfície na cultura do milho [2].

No método da aspersão, jatos de água lançados ao ar caem sobre a cultura na forma de chuva (Figura 2) [2].



Figura 2: Irrigação por aspersão [2].

No método da irrigação localizada a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso ou "tripa") ou superficiais (microaspersores). A proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total, o que pode resultar em economia de água. O teor de umidade do solo pode ser mantido alto, através de irrigações frequentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição, como é o caso da produção de milho verde (Figura 3) [2].



Figura 3: Irrigação localizada [2].

Na irrigação subterrânea, a água é aplicada diretamente sob a superfície do solo. Esta aplicação é realizada pela manutenção e controle do lençol freático a uma profundidade favorável ao desenvolvimento da cultura, ou pela aplicação de água através de tubos ou manilhas perfuradas ou porosas. A irrigação subterrânea pode ser opção viável em áreas de várzeas, e em solos com horizonte subsuperficial impermeável, com presença de lençol freático [2].

2.2. Data logger

Um *Datalogger* ou um Registrador de Dados é qualquer dispositivo que pode ser usado para armazenar dados. Este dispositivo eletrônico registra informações ao longo de um tempo previamente determinado [3-4].

Os registros estão diretamente relacionados às informações que o usuário deseja arquivar ou monitorar, podendo estas ser diferentes tipos de grandezas, tais como físicas ou elétricas, e entre outras que dependerão dos sensores externos ou acoplados ao circuito do *datalogger* [3].

Como exemplo, citam-se dois *datalogger* conhecidos:

2.2.1. Registrador Eletrônico de Umidade e Temperatura LogBox-RHT-LCD

O LogBox-RHT-LCD é um *data logger* de 2 canais com sensores de temperatura e umidade integrados (figura 4). Utiliza sensor de alta qualidade, para medições precisas e confiáveis em aplicações de transporte, estocagem de perecíveis, auditoria de processos, entre outras. Pode ser facilmente programado e configurado através de uma versátil interface de comunicação conectada à porta USB do PC e software em ambiente Windows® [3].



Registrador Eletrônico de Umidade e Temperatura - LogBox-RHT-LCD

Figura 4: Registrador Eletrônico de Umidade e Temperatura [3].

2.2.2. Micro Registrador Eletrônico de Temperatura - TagTemp

TagTemp é um *data logger* de temperatura compacto (figura 5). Ele pode ser usado em ambientes severos em diversas aplicações. É programável e configurável através de uma interface de comunicação infravermelha conectada a porta USB de um computador utilizando software em ambiente Windows ou PalmOS [3].



Figura 5: Registrador Eletrônico de Temperatura [3].

2.3. Sensor de Corrente

Para a medição de corrente elétrica, conforme citado anteriormente, pode-se fazê-lo utilizando resistores shunt, o método da bobina de Rogowski, um sensor do tipo Hall, etc.

2.3.1. Bobina de Rogowski

A Bobina de Rogowski é um dispositivo elétrico para medir o sinal da corrente alternada ou pulsos de alta velocidade. Consiste de uma bobina helicoidal e toroidal de fio, sem o núcleo de ferro. Devido ao núcleo de ar, a bobina tem baixa indutância e pode responder a rápidas alterações da corrente de falta.

Basicamente, o dispositivo é enrolado sobre o núcleo de ar, com o espaçamento igual de uma extremidade a outra e retorna através do centro do núcleo da bobina à outra extremidade, ou seja, concentricamente, de modo que ambos os terminais estejam na mesma extremidade da bobina (figura 6) [5].

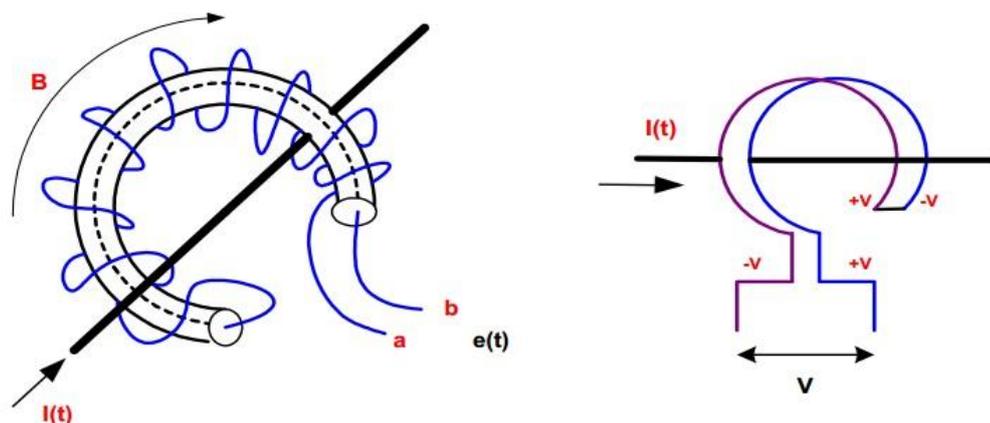


Figura 6: Bobina de Rogowski [5].

Se a corrente $I(t)$ aplicada varia no tempo, o fluxo magnético varia também dentro da bobina e aplicando a Lei de Amperes para o circuito na frequência fundamental de 50 ou 60 Hz, tem-se uma diferenciação do sinal de corrente senoidal proporcionando uma tensão senoidal de saída, que se encontra atrasada de 90 graus [5].

2.3.2. Resistor Shunt

Um resistor conhecido pode ser empregado em um circuito para medições de correntes elevadas. Consiste em uma resistência calibrada, conectada em série com o circuito. Desta forma, pela lei de Ohm, quando a corrente a ser medida passa pelo resistor, o Shunt, resulta uma tensão em seus terminais. Tal método apresenta alguns inconvenientes, pelo fato da alta corrente que provoca um superaquecimento no resistor, a tensão que provoca problema de isolamento elétrica e a alta frequência que produz o efeito Pelicular.

2.3.3. Efeito Hall

O Efeito Hall está diretamente relacionado ao surgimento de uma tensão em um condutor elétrico, transversal ao fluxo de corrente (I) e um campo magnético (B) perpendicular à corrente. A Figura 6 mostra o princípio básico de efeito Hall. Ela mostra uma folha fina de material semicondutor através da qual uma corrente é passada. As conexões de saída são perpendiculares à direção da corrente. Quando o campo magnético (B) não está presente (figura 7), a distribuição de corrente é uniforme e não é visto diferença de potencial (ddp) através da saída. [6-7].

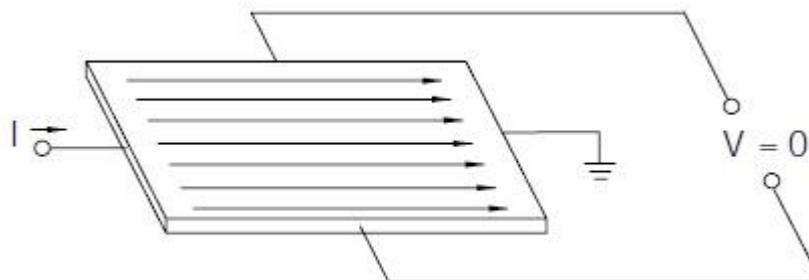


Figura 7: Efeito Hall em um semicondutor sem presença de campo magnético aplicado [7].

Entretanto, na presença de um campo magnético (B) perpendicular presente, conforme mostra na Figura 8, uma força de Lorentz é exercida sobre a corrente (I). Esta força perturba a distribuição de corrente, o que resulta numa diferença de potencial (ddp) através da saída. Esta tensão é a tensão de Hall (V_H) [7].

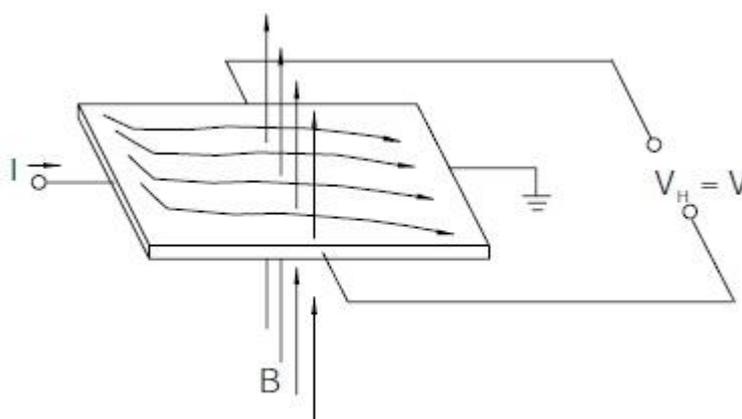


Figura 8: Efeito Hall em um semicondutor com presença de campo magnético aplicado [7].

A interação entre o campo magnético e a corrente é mostrada através da equação 1.

$$V_H = I \cdot B \quad (1)$$

2.3.4. CI ACS712

O CI ACS712 utiliza o princípio do efeito Hall utilizou-se deste fator para utiliza-lo na medição de corrente. O dispositivo consiste em um circuito de precisão, baixo off-set e de um circuito linear sensor hall com um caminho de condução, de cobre , localizado próximo à superfície do integrado, na qual facilita a leitura das correntes AC ou DC (ver figura 9).

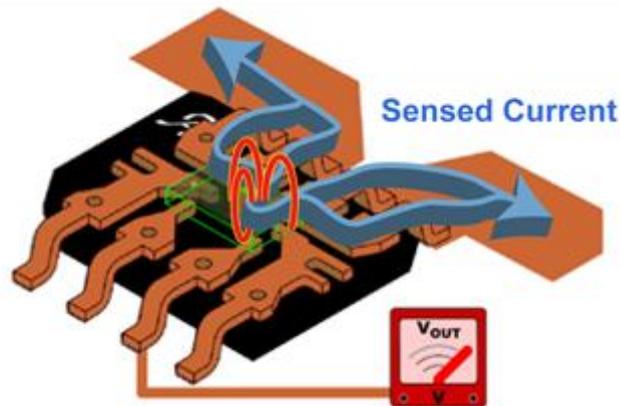


Figura 9: Visão interna do Circuito Integrado ACS712 [6].

Aplicando uma corrente neste caminho/trilha de cobre citado acima é gerado um campo magnético que é percebido pelo sensor e que na sequência é convertido em uma tensão proporcional. A precisão deste dispositivo é otimizada através da proximidade sinal magnético com o transdutor Hall [6].

A saída do dispositivo, pino 7 do sensor, tem uma inclinação positiva quando um aumento do fluxo de corrente ocorre (de pinos 1 e 2, para os pinos 3 e 4), que é o caminho usado para a detecção de correntes. A resistência interna do caminho condutor é de 1,2 m Ω típica, proporcionando perda de baixa potência. A espessura da trilha condutora permite a sobrevivência do dispositivo em até 5 \times nas condições de sobrecorrente. Os terminais do caminho condutor são isolados eletricamente da saída do sensor através dos pinos 5 a 8. Isto permite que o sensor de corrente seja usado em aplicações que requerem o isolamento elétrico sem a utilização de opto-isoladores ou outras técnicas de isolamento, conforme figura 10 uma imagem do diagrama interno do componente e a figura 11 com a sua pinagem [6].

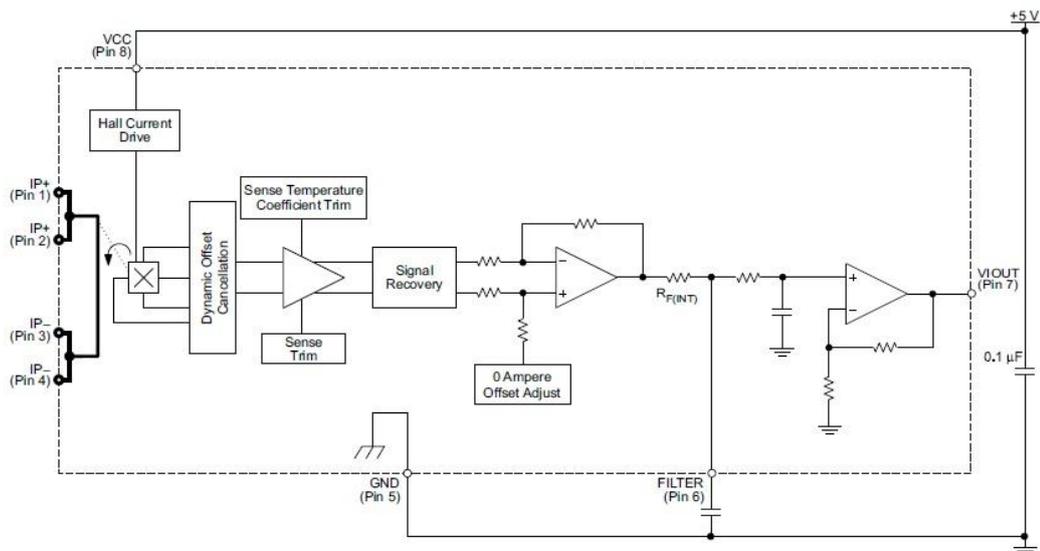


Figura 10: Circuito do Diagrama de blocos interno do Sensor ACS [6].

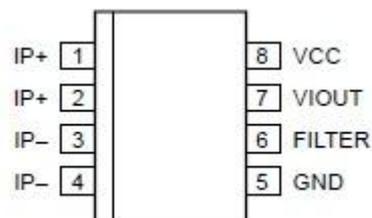


Figura 11: Nomenclatura dos pinos do componente [6].

Abaixo segue a descrição de cada pino:

IP+ são os terminais por onde a corrente será amostrada;

IP- são os terminais por onde a corrente será amostrada;

VCC é o terminal de alimentação do componente;

VIOUT é o terminal de saída do componente, onde o sinal medido é amostrado;

FILTER é o terminal para colocação de um capacitor externo para formar um filtro com a resistência interna (1.7KΩ) do componente.

2.3.5. Características do Sensor ACS712

- Baixo ruído na condução do sinal analógico;
- Frequência do dispositivo é configurada através de um pino para filtro;
- A produção total de erro de 1,5% na TA = 25 ° C;

- 1,2mohms resistência de resistência interna;
- 2,1 kVrms tensão mínima de isolamento a partir de pinos de 1-4 para 5-8 pinos;
- 5.0 V de alimentação;
- 66-185 mV / A sensibilidade de saída;
- Saída de tensão proporcional à corrente AC ou DC de entrada;
- Saída extremamente estável em relação ao offset de tensão;
- Quase zero histerese magnética.

2.4. Transformador de Potencial (TP)

O Transformador de Potencial que é comumente conhecido como trafo é um dispositivo elétrico que tem como suas principais finalidades isolar um circuito, elevar ou diminuir uma tensão. Entre outras utilidades, o mesmo pode casar impedância entre diferentes circuitos ou como parte de filtros em circuitos de rádio frequência [8].

Teoricamente, um transformador deve transferir toda a potência do primário para o secundário (primário e secundário são enrolamentos de entrada e saída, respectivamente). Na prática, observa-se certa perda de potência nessa transferência de potência, ocasionada por diversos motivos, como a resistência de fio e correntes pelo núcleo, denominadas correntes de *Foucault* [8].

Na parte construtiva, um transformador é constituído pelo menos por dois enrolamentos, chamados de primário e secundário. Na maioria dos casos, esses enrolamentos são independentes, entre si, mas sofrem a ação do campo eletromagnético, que é mais intenso quanto esses transformadores possuem um núcleo de material ferromagnético [8].

O enrolamento em que se aplica a tensão à ser “transformada” chama-se primário e o enrolamento em que obtém-se a tensão desejada se chama secundário. A tensão do secundário depende da relação de espiras entre o primário e o secundário e da tensão aplicada no primário. Na sequência, seguem alguns símbolos de tipos de transformadores que conforme aplicação utiliza-se diferentes modelos [8].

O Trafo de núcleo de ferro é utilizado em fontes convencionais para a isolamento de circuitos ou conforme a relação do primário para o secundário com elevador ou rebaixador de tensão (figura 12) [7].

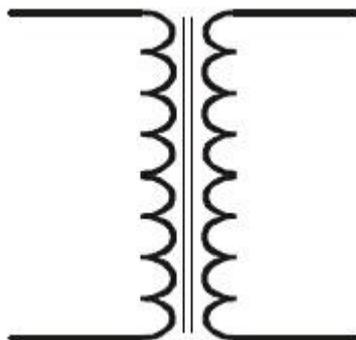


Figura 12: Circuito do Diagrama de um Trafo com núcleo de ferro [8].

O trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos primários é utilizado quando há a necessidade da aplicação de diferentes tensões em seu primário, como $127 V_{AC}$ ou $220 V_{AC}$ (figura 13).

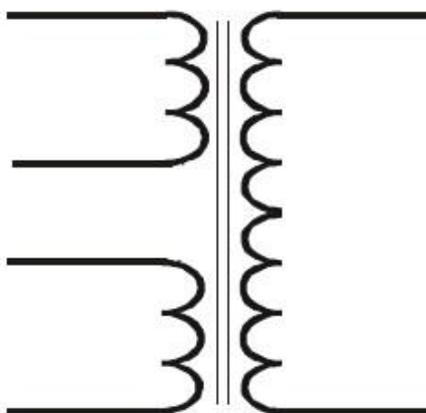


Figura 13: Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos primários [8].

Trafo com centro tap (tomada central ou apenas tap) no secundário é utilizado quando se deseja trabalhar com retificação em onda completa (figura 12).

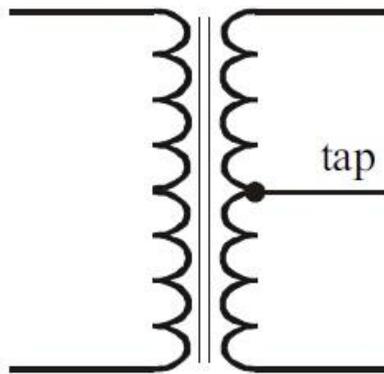
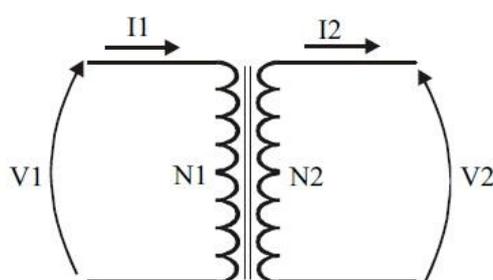


Figura 14: Trafo com tap Central [8].

Considerações Gerais sobre Transformadores:

- Todos os transformadores se aquecem durante o funcionamento, em virtude das perdas que existem.
- Quanto mais alta a potência retirada nos secundários de um trafo, maior será o aquecimento do mesmo.
- Os núcleos devem ser feitos de chapas de ferro silício, não servindo para o mesmo fim, ferro doce ou outro ferro comum, assim como também não é possível um núcleo de ferro maciço.
- A qualidade do ferro empregado é um fator que deve ser considerado no projeto de um trafo.
- Para determinada tensão variável aplicada no primário do transformador tem-se uma tensão induzida no secundário.

Dado o esquema de um Trafo ideal, tem-se o seguinte modelo (figura 15):



onde:

- V_1 = tensão no primário
- V_2 = tensão no secundário
- I_1 = corrente no primário
- I_2 = corrente no secundário
- N_1 = espiras do primário
- N_2 = espiras do secundário

Figura 15: Circuito modelo de trafo ideal [8].

A equação geral do modelo de trafo ideal é apresentada na equação 2:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

2.5. Sensor Termopar

O Termopar é um sensor de temperatura formado por um par metálico de materiais distintos. Unindo-se uma de suas extremidades, por aperto ou soldadura, forma-se a extremidade de medição de temperatura. Na outra, forma-se uma extremidade onde se observa uma força eletromotriz gerada em função da diferença de temperatura na junta de medição [9].

2.5.1. Efeito Termoelétrico

A aplicação científica e tecnológica dos efeitos termoelétricos é muito importante e sua utilização no futuro é cada vez mais promissora. Os estudos das propriedades termoelétricas dos semicondutores e dos metais levam, na prática, à aplicação dos processos de medições na geração de energia elétrica (bateria solar) e na produção de calor e frio. O controle de temperatura feito por pares termoelétricos é uma das importantes aplicações do efeito Seebeck [9].

Quando dois metais ou semicondutores distintos são conectados e as junções mantidas a diferentes temperaturas, três fenômenos ocorrem simultaneamente: o *efeito Seebeck*, o *efeito Peltier* e o *efeito Thomson* [9].

Atualmente, busca-se o aproveitamento industrial do efeito Peltier, em grande escala, para obtenção de calor ou frio no processo de climatização ambiente [9].

2.5.2. Efeito Termoelétrico Seebeck

Entre 1821 e 1822, Thomas J. Seebeck notou a existência dos circuitos termoelétricos quando estudava o efeito eletromagnético em metais. Observou que um circuito fechado, formado por dois metais diferentes, é percorrido por uma corrente elétrica quando as junções estão expostas a uma diferença de temperatura (figura 16). Este fenômeno hoje é denominado de Efeito de Seebeck. Entretanto, se o circuito é aberto, uma força eletromotriz termoelétrica (f.e.m.) aparece e depende somente dos metais e das temperaturas das junções do termopar [9].

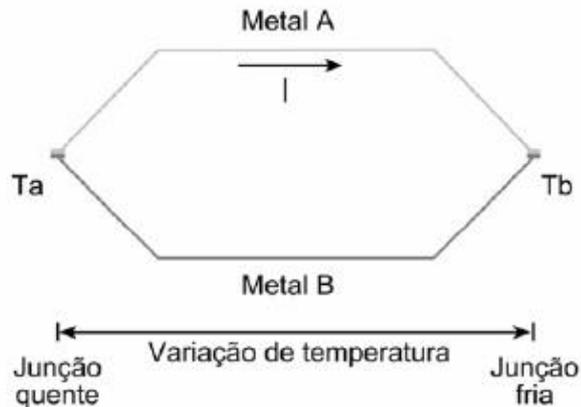


Figura 16: Efeito Termoelétrico Seebeck [9].

2.5.3. O Efeito termoelétrico de Peltier

Em 1834, Jean C. A. Peltier descobriu que na existência de um fluxo de corrente na junção de dois metais diferentes, calor é liberado ou absorvido. Este fenômeno é conhecido como Efeito de Peltier e pode ser definido como a mudança no conteúdo de calor quando uma quantidade de carga (1 Coulomb) atravessa a junção (este efeito é à base do estudo termoelétrico). Cabe observar que este efeito é reversível e não depende da forma ou dimensões dos condutores. Portanto, depende apenas da composição das junções e temperatura (figura 17) [9].

Existem aplicações onde este efeito pode ser utilizado, como por exemplo, em coolers usando-se uma diferença de potencial se pode transferir calor da junção fria para quente aplicando-se a polaridade elétrica adequada (É um refrigerador no sentido termodinâmico da palavra) [9].

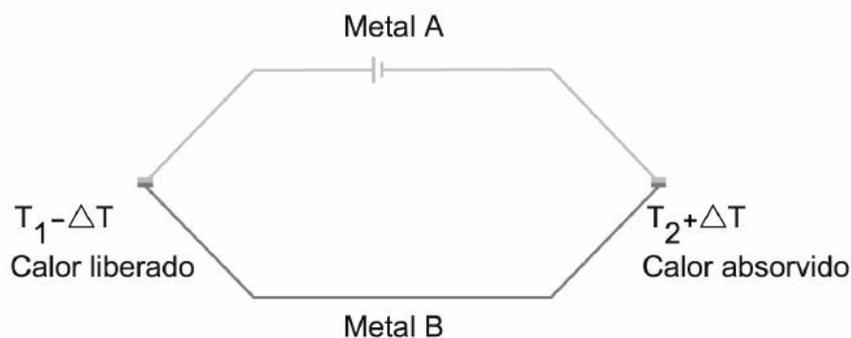


Figura 17: Efeito Termoelétrico Peltier [9].

2.5.4. O Efeito Thomson

O efeito Thomson se inspirou numa abordagem teórica de unificação dos efeitos Seebeck (1821) e Peltier (1834). Em 1851, William Thomson (Lord Kelvin), descreve a capacidade generalizada de um metal submetido a uma corrente elétrica e um gradiente de temperatura em produzir frio ou calor. Observou-se também que uma variação de temperatura em um condutor metálico é acompanhada por um pequeno gradiente de tensão cuja magnitude e direção depende do tipo de metal. Cabe observar que o fluxo de corrente em um circuito depende da resistência do condutor, mas a f.e.m. não depende da resistividade, das secções dos condutores ou da distribuição de temperatura ou gradiente [9].

A f.e.m. depende somente das temperaturas entre as junções e dos metais que formam o termopar. Assim, em metais como zinco e cobre, com o terminal "quente" conectado a um potencial elétrico maior e o terminal "frio" conectado a um potencial elétrico menor, onde a corrente elétrica flui do terminal quente para o frio, a corrente elétrica está fluindo de um ponto alto potencial térmico para um potencial térmico menor. Nessa condição há liberação de calor. É chamado de efeito positivo de Thomson. E teremos um efeito contrário em metais como cobalto, níquel, e ferro, com o terminal "frio" conectado a um potencial elétrico maior e o terminal "quente" conectado a um potencial elétrico menor, onde a corrente elétrica flui do terminal frio para o quente, a corrente elétrica está fluindo de um ponto baixo potencial térmico para um ponto de potencial térmico maior. Nessa condição, há absorção do calor. É chamado de efeito negativo de Thomson [9]

2.5.5. Como funciona o Termopar

A partir da descoberta do físico Thomas Seebeck, descobriu-se que a junção de dois metais gera uma tensão elétrica em função da temperatura. O funcionamento dos termopares é baseado neste fenômeno, que é conhecido como Efeito de Seebeck. Embora praticamente se possa construir um termopar com qualquer combinação de dois metais, comercialmente são utilizadas apenas algumas combinações normalizadas, isto porque possuem tensões de saída previsíveis e suportam grandes variações de temperaturas [10].

Atualmente, existem tabelas normalizadas, como as da norma IEC751, que indicam a tensão produzida por cada tipo de termopar, nela é descrito todos os valores de temperatura que suporta, por exemplo, o termopar tipo K com uma temperatura de 250 °C irá produzir 10,13 mV. Todas as tabelas normalizadas

mostram os valores da tensão de saída do termopar, considerando que a segunda junção do termopar (a junção fria) é mantida a exatamente zero graus Celsius [9].

Contudo, não basta ligar um voltímetro ao termopar e registrar o valor da tensão produzida, uma vez que ao ligar o voltímetro se está criando uma segunda (e indesejada) junção no termopar [10].

2.5.6. Lei dos metais intermediários

É preciso tomar muito cuidado na realização das medidas na saída de um termopar. A segunda junta é adicionada quando não se tem o conhecimento da regra dos metais intermediários. Tal fundamento é baseado no seguinte detalhe prático: se em qualquer ponto do termopar for inserido um metal genérico, desde que, as novas junções, criadas pela inserção do metal genérico, sejam mantidas a temperaturas iguais, a tensão de Seebeck não é alterada (figura 18) [9].

Tomando como ponto de partida o fato que ligando um voltímetro a um termopar não se geram várias junções adicionais (ligações ao termopar, ligações ao aparelho de medida, ligações dentro do próprio aparelho, etc...), a resposta advém da lei conhecida como lei dos metais intermédios, que afirma que ao inserir-se um terceiro metal entre os dois metais de uma junção de um termopar, bastam que as duas novas junções criadas com a inserção do terceiro metal estejam à mesma temperatura para que não se manifeste qualquer modificação na saída do termopar. Esta lei é também importante na própria construção das junções do termopar, uma vez que assim se garante que ao soldar os dois metais a solda não irá afetar a medição. Contudo, na prática as junções dos termopares podem ser construídas por aperto ou soldadura dos mesmos [9-10].

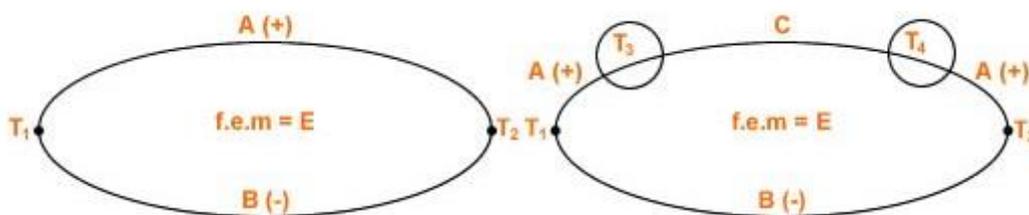


Figura 18: Demonstração da inserção do material C, com as junções a mesma temperatura, assim sua influência será nula no valor final da medição. [9].

2.5.7. Força eletromotriz em função da Temperatura

A f.e.m. gerada em um termopar depende da composição química dos condutores e da diferença de temperatura entre as juntas, isto é, a cada grau de variação de temperatura, pode-se observar uma variação da f.e.m. gerada pelo termopar; assim, obtém-se uma de correlação entre temperatura e a f.e.m. (figura 19). Por questão prática, padronizou-se o levantamento destas curvas com a junta de referência à temperatura de 0°C [9].

Todas as tabelas foram padronizadas por diversas normas internacionais e levantadas de acordo com a Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 (IPTS-68), recentemente atualizada pela ITS-90, para os termopares mais utilizados. A partir dessas tabelas, pode-se construir um gráfico conforme o apêndice B, onde está relacionada a tensão na ordem de milivolts gerada em função da temperatura, para os termopares segundo a norma ANSI, com a junta de referência a 0°C [9].

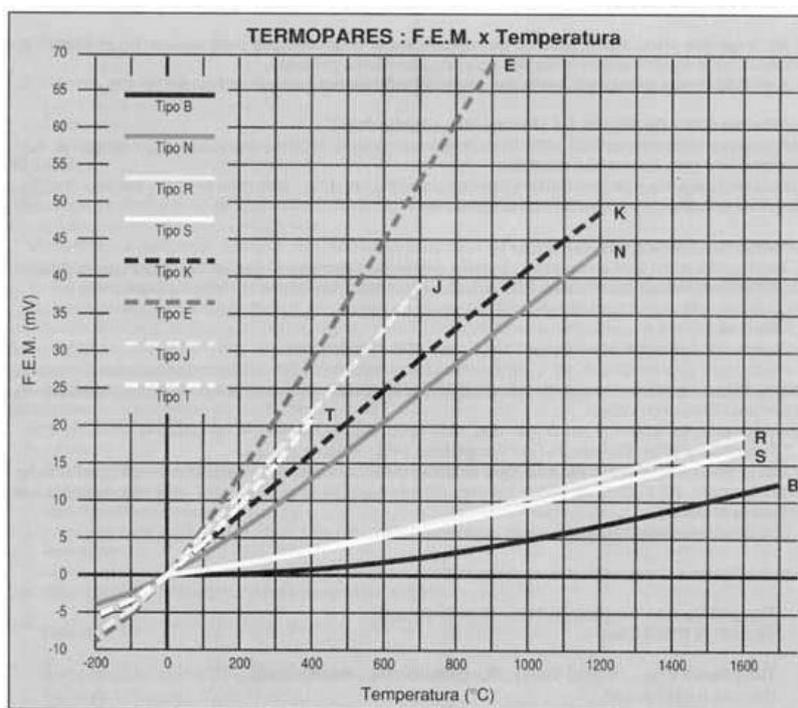


Figura 19: Curva de Correlação F.E.M. x Temperatura dos Termopares [11].

2.5.8. Conversão de Tensão para Temperatura

A utilização do gráfico é restrita para alguns casos. Com relação à f.e.m. versus temperatura de um termopar não é linear, o instrumento indicador deve de algum modo linearizar o sinal gerado pelo sensor. No caso de alguns instrumentos analógicos (como registradores), a escala gráfica do instrumento não é linear

acompanhando a curva do termopar; e em instrumentos digitais usa-se ou a tabela padrão de correlação f.e.m. x temperatura, armazenada em memória ou uma equação matemática que descreva resposta do sensor. Esta equação é um polinômio, que a depender da precisão requerida pode alcançar uma ordem de até 9º grau [9].

A expressão geral, conforme [9], apresenta a forma:

$$T = a_0 + a_1.V + a_2.V^2 + a_3.V^3 + \dots + a_n.V^n \quad (3)$$

V é a f.e.m. observada em volts (mV), T é a temperatura da junção (°C), n a ordem dos polinômios e a é o coeficiente apropriado para os tipos particulares de cada termopar são dados na Tabela (1) [9].

Tabela 1: Coeficientes dos Termopares para o cálculo da Temperatura [11].

	Tipo E	Tipo J	Tipo K	Tipo R	Tipo S	Tipo T
	Níquel-Cromo(+) Versus Cobre-Níquel(-)	Ferro(+) Versus Cobre-Níquel(-)	Níquel-Cromo(+) Versus Níquel-Alumínio(-)	Platina - 13% Ródio(+) Versus Platina(-)	Platina - 10% Ródio(+) Versus Platina(-)	Cobre (+) Versus Cobre-Níquel(-)
	-100°C a 1000°C ±0,5°C 9º ordem	0°C a 760°C ±0,1°C 5º ordem	0°C a 1370°C ±0,7°C 8º ordem	0°C a 1000°C ±0,5°C 8º ordem	0°C a 1750°C ±1°C 9º ordem	-160°C a 400°C ±0,5°C 7º ordem
a_0	0,104967248	-0,048868252	0,226584602	0,263632917	0,927763167	0,100860910
a_1	17189,45282	19873,14503	24152,10900	179075,491	169526,5150	25727,94369
a_2	-282639,0850	-218614,5353	67233,4248	-48840341,37	-31568363,94	-767345,8295
a_3	12695339,5	11569199,78	2210340,682	1,90002E + 10	8990730663	78025595,81
a_4	-448703084,6	-264917531,4	-860963914,9	-4,82704E + 12	-1,63565E + 12	-9247486589
a_5	1,10866E + 10	2018441314	4,83506E + 10	7,62091E + 14	1,88027E + 14	6,97688E + 11
a_6	-1,76807E + 11		-1,18452E + 12	-7,20026E + 16	-1,37241E + 16	-2,66192E + 13
a_7	1,71842E + 12		1,38690E + 13	3,71496E + 18	6,17501E + 17	3,94078E + 14
a_8	-9,19278E + 12		-6,33708E + 13	-8,03104E + 19	-1,56105E + 19	
a_9	2,06132E + 13				1,69535E + 20	

2.5.9. Compensação da junta de referência

As tabelas existentes da f.e.m. gerada em função da temperatura para os termopares têm fixado a junta de referência a 0°C (ponto de solidificação da água), porém nas aplicações práticas dos termopares a junta de referência é considerada

nos terminais do instrumento receptor e esta se encontra a temperatura ambiente que é normalmente diferente de 0°C e variável com o tempo, tornando assim necessário que se faça uma correção da junta de referência, podendo esta ser automática ou manual [10].

Nos instrumentos utilizados para medição de temperatura com termopares é comum realizar a correção da junta de referência automaticamente. A medição da temperatura nos terminais do instrumento, através de um circuito eletrônico, é adicionar à tensão (mV) que chega aos terminais, um valor correspondente à diferença de temperatura de 0°C à temperatura ambiente. Existem também alguns instrumentos em que a compensação da temperatura é fixa em 20°C ou 25°C. Neste caso, se a temperatura ambiente for diferente do valor fixo, o instrumento indicará a temperatura com um erro que será tanto maior quanto maior for à diferença de temperatura ambiente e do valor fixo [10].

É importante não esquecer que o termopar mede realmente a diferença entre as temperaturas das junções. Então para medir a temperatura do ponto desejado precisa-se manter a temperatura da junção de referência invariável [10].

2.5.10. Tipos de Termopares

Existem diversos modelos e tipos de termopares disponíveis no mercado, estes têm os mais diversos formatos, desde os modelos com a junção a descoberto que têm baixo custo e proporcionam tempo de resposta rápida, até os modelos que estão incorporados em sondas. Estes estão disponíveis em grande variedade, para diferentes aplicações (industriais, científicas, investigação médica, etc...) [11].

Quando se procede à escolha de um termopar deve-se ponderar qual o mais adequado para a aplicação desejada, segundo as características de cada tipo de termopar, tais como a gama de temperaturas suportada, a exatidão e a confiabilidade das leituras, entre outras [11].

Também, deve-se levar em consideração, além da especificação do tipo de liga, a construção física do termopar. Para cada processo é necessário uma construção física específica, já que alguns processos agredem o material utilizado. Desta forma, é imprescindível que na especificação do termopar, além da liga, seja levada em consideração sua construção física externa. Em virtude disso, existem diversos modelos de termopares, em que cada qual se adequa em uma aplicação de acordo com suas características. Os seguintes tipos estão disponíveis: tipo E (Cromel/Constantan), tipo J (Ferro/Constantan), tipo N (Nicrosil/Nisil), tipo B, R e

S (Platina/Ródio-Platina), tipo T (Cobre/Constantan) e o tipo K (Crome/Alumel), que foi utilizado neste projeto [11].

2.5.11. Tipo K (Cromel / Alumel)

O termopar tipo K é um termopar de uso genérico. Tem um baixo custo e, devido à sua popularidade estão disponíveis variadas sondas. Cobrem temperaturas entre os -200 e os 1200 °C, tendo uma sensibilidade de aproximadamente $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ [11].

- Termoelemento positivo (KP): Ni90%Cr10% (Cromel);
- Termoelemento negativo (KN): Ni95%Mn2%Si1%Al2% (Alumel);
- Faixa de utilização: -270 °C a 1200 °C;
- f.e.m. produzida: -6,458 mV a 48,838 mV.

2.5.12. Limites de erros dos termopares

Entende-se por erro de um termopar, o máximo desvio que este pode apresentar em relação a um padrão, que é adotado como padrão absoluto. Este erro pode ser expresso em Graus Celsius ou em porcentagem da temperatura medida, adotar sempre o que der maior [10]. A tabela 2 apresenta os limites de erro dos termopares.

Tabela 2: Limite de Erros dos Termopares [11].

Tipo de Termopar	Faixa de Temperatura	Limites de Erro	
		Standard (Escolher o Maior)	Especial (Escolher o Maior)
T	0 a 350°C	$\pm 1^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ ou 0,4%
J	0 a 750°C	$\pm 2,2^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$	$\pm 1,1^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,4\%$
E	0 a 900°C	$\pm 1,7^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,5\%$	$\pm 1^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,4\%$
K	0 a 1250°C	$\pm 2,2^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$	$\pm 1,1^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,4\%$
S e R	0 a 1450°C	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,25\%$	$\pm 0,6^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,1\%$
B	800 a 1700°C	$\pm 0,5\%$	-
T	-200 a 0°C	$\pm 1^\circ\text{C}$ ou $\pm 1,5\%$	-
E	-200 a 0°C	$\pm 1,7^\circ\text{C}$ ou $\pm 1\%$	-
K	-200 a 0°C	$\pm 2,2^\circ\text{C}$ ou $\pm 2\%$	-

2.6. Medição de Umidade do Ar

Por definição a umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação). Ela é um dos indicadores usados na meteorologia para fazer previsões [12].

Essa umidade presente no ar é decorrente de uma das fases do ciclo hidrológico, o processo de evaporação da água. O vapor de água sobe para a atmosfera e se acumula em forma de nuvens, mas uma parte passa a compor o ar que circula na atmosfera [12].

Porém, o ar, assim como qualquer outra substância, possui um limite até o qual ele absorve a água (ponto de saturação). Abaixo do ponto de saturação, há o ponto de orvalho, que é quando a umidade se acumula sob a forma de pequenas gotas ou neblina e, acima dele, a água se precipita na forma de chuva [13].

A umidade relativa do ar vai variar de acordo com a temperatura (a 0°C a umidade relativa do ar é de 4,9g/m³ e a 20°C é de 17,3g/m³), a presença ou não de florestas ou vegetação, rios e represas (desertos, por exemplo, tem a umidade relativa do ar muito baixa) e, mesmo, à queda da temperatura (orvalho) [15]. Em um deserto a umidade relativa do ar pode chegar a 15%, sendo que a média mundial é de 60% [12].

2.6.1. Umidade relativa

Expressa em percentuais a razão entre a pressão de vapor de água, em qualquer gás (especialmente ar, chamado de pressão de vapor absoluta: [PVA]), em relação à pressão de vapor em equilíbrio ou à pressão de vapor de saturação (PVS), isto resulta na equação 4:

$$U_{RELATIVA} = \frac{PVA}{PVS} \quad (4)$$

2.6.2. Sensores de Umidade

Para a medição de umidade existem alguns métodos possíveis para proceder. Entretanto, a medição vai depender principal do sensor utilizado e do ambiente onde o mesmo será acoplado, para que a confiabilidade da medição não comprometida. Assim, podemos citar alguns tipos de sensores, tais como: sensor de umidade relativa capacitivo, sensor de umidade resistivo e sensor de umidade por condutividade térmica [12].

2.6.3. Sensor de Umidade por Condutividade Térmica

Os sensores de umidade por condutividade térmica (denominamos sensores de umidade absoluta) medem a umidade absoluta pela diferença entre a

condutividade térmica do ar seco e ar contendo vapor de água. Normalmente, esses sensores são construídos com dois termistores NTC [12].

2.6.4. Sensor de Umidade Resistivo

O sensor de umidade resistivo (ver figura 20) determina a alteração na impedância que usualmente apresenta uma relação exponencial com a umidade. Normalmente esses sensores são construídos com eletrodos metálicos depositados em um substrato polimérico condutivo. Em geral apresentam uma impedância de $1k\Omega$ a $100M\Omega$ com precisão de $\pm 2\%$ [12].



Figura 20: Sensor de umidade relativo resistivo UPS 500 [12].

2.6.5. Sensor de Umidade Capacitivo

Os Sensores capacitivos são amplamente utilizados para a medição de umidade relativa e dominam o mercado para essa necessidade. O seu princípio de funcionamento se baseia na alteração da sua constante dielétrica que é proporcional à umidade relativa ambiental. Os valores típicos de suas capacitâncias estão na ordem $0,2pF$ a $0,5pF$ para alterações de 1% da umidade relativa [12].

No desenvolvimento deste projeto utilizou-se do Sensor HIH – 5031 do fabricante Honeywell (figura 21).



Figura 21: Sensor de umidade relativa capacitivo HIH-5031 [12].

O princípio construtivo do sensor é baseado no material polímero, que é composto químico de elevada massa molecular. Estes sensores são de alta precisão, pois sua construção lhe permite detectar diretamente as alterações na saturação relativa como uma alteração na capacitância do sensor. Saturação relativa é o mesmo que umidade ambiente relativa (RH%) quando o sensor está à temperatura ambiente. Com isto, a alteração na capacitância do sensor é a medida da alteração na umidade relativa [12].

Para o cálculo da RH% deve-se medir a tensão de saída do sensor (V_{OUT}) e a temperatura ambiente que está diretamente envolvida no processo de medição de umidade, desta forma ela será um fator de compensação no cálculo da umidade relativa, conforme equações 5 e 6, Cabe lembra que o cálculo baseia-se na temperatura de 25°C, podendo sofrer variações conforme existe mudança na temperatura [13].

$$V_{OUT} = (V_{SUPPLY}) \cdot (0.00636 \cdot (sensorRH) + 0.1515) \quad (5)$$

$$True_{RH} = (sensorRH) / (1.0546 - 0.00216 \cdot T) \quad (6)$$

2.6.6. Características do Sensor HIH-5031

- Opera para 2.7Vdc, muitas vezes ideal em sistemas movidos a bateria onde a alimentação é de 3Vdc;
- Saída praticamente linear, ou seja, tensão de saída x RH| %;
- Baixa potência;
- Ótima precisão
- Rápido tempo de resposta;
- Quimicamente resistente.

Como base de comparação o fabricante fornece, ainda, o gráfico de Tensão de saída do Sensor x RH% (figura 22).

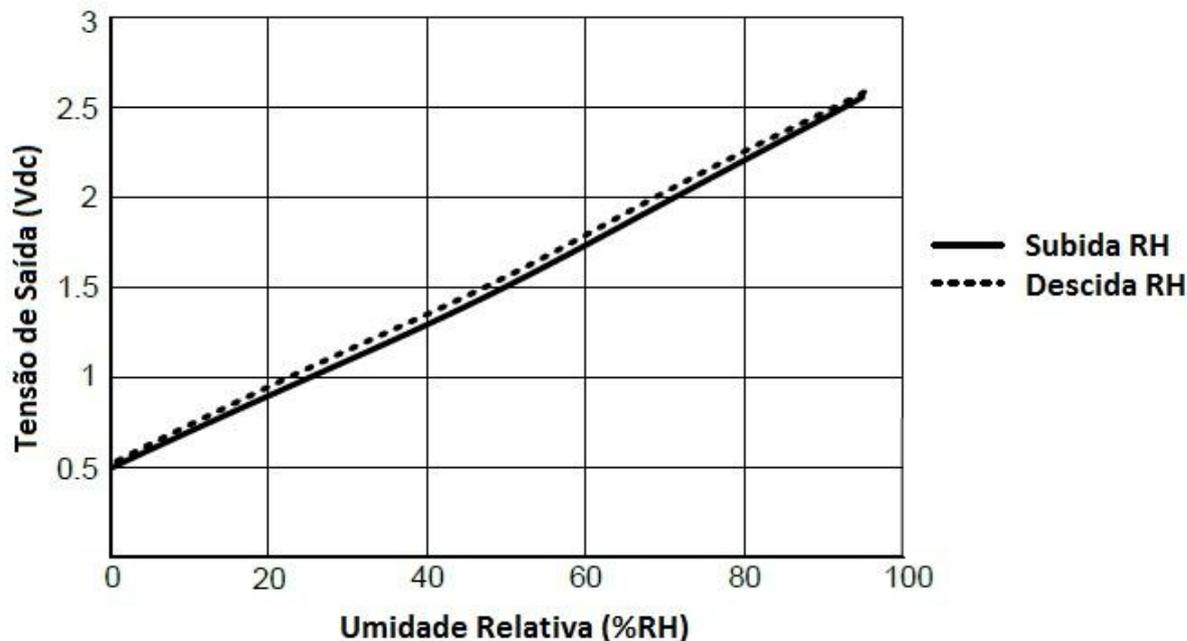


Figura 22: Gráfico da Tensão de saída do Sensor x Umidade Relativa [13].

2.7. Cartão de Memória SD

As memórias SD Card (*Security Data Card*) são do tipo flash presentes na maioria das câmeras fotográficas, celulares, palmtops, *data loggers* e entre outros produtos eletrônicos. O uso delas se difundiu pelo seu baixo custo, confiabilidade, velocidade de comunicação, capacidade de armazenamento, além de possuírem dimensões reduzidas [14].

A principal diferença entre a memória FLASH e a EEPROM é em termos de armazenamento. A EEPROM permite acessar o dado contido em uma posição específica da memória, bastando apenas informar o endereço em que se deseja ler ou escrever um dado de 8 bits [14].

Na memória FLASH, os dados são organizados em blocos, e cada bloco contém um determinado número de bytes definido pelo usuário. Deste modo, se o usuário quiser acessar um determinado dado, é necessário acessar o bloco ao qual ele pertence [14].

A figura 23 apresenta um cartão de memória tipo SD.



Figura 23: Memória SD Card [15].

A comunicação entre o microcontrolador e a memória SD Card pode ser realizada por meio de dois protocolos de comunicação, SPI ou SD. O SPI é um protocolo serial *bit a bit*, que foi desenvolvido pela Motorola. Trata-se de uma comunicação síncrona que opera no modo *full-duplex*, suporta um dispositivo *Master* e um ou mais *Slaves* conectados no barramento. Ela também se caracteriza pela simplicidade e eficiência, podendo alcançar velocidades de até 70MHz. Atualmente, está presente em inúmeros dispositivos, devido à capacidade de fluxo de dados e à facilidade de implementá-lo. Dentre eles temos microcontroladores, conversores D/A e A/D, sensores de temperatura, SD/MMC Card, LCDs e potenciômetros digitais e etc [14].

O barramento de comunicação é composto por quatro linhas que são denominadas: SCLK/SCK (*Serial Clock*), MOSI/SIMO/SDI/DI/SI (*Master Output – Slave Input*), MISO/SOMI/SDO/DO/SO (*Master Input – Slave Output*) e SS/CS/STE (*Slave Select*) [14].

Existem basicamente dois modos de fazer a conexão em um barramento SPI. Podemos conectar o *Master* e o *Slave* de modo independente, ou então conectá-los em cascata, conforme figuras 24 e 25 [14].

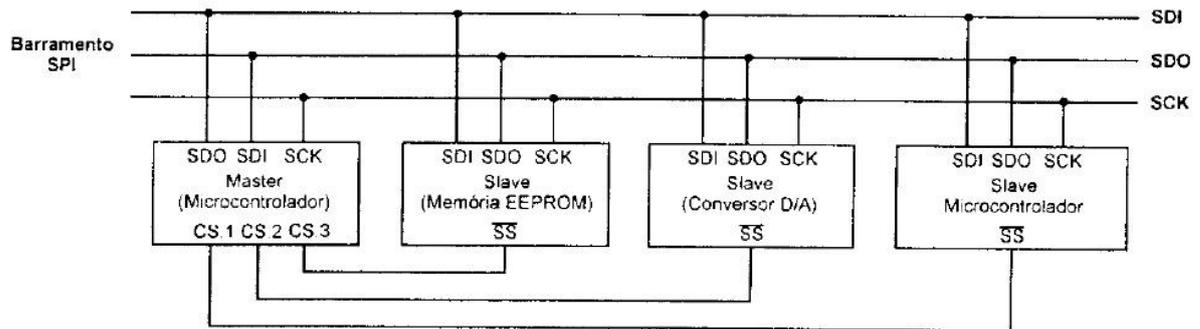


Figura 24: Conexão independente SPI [14].

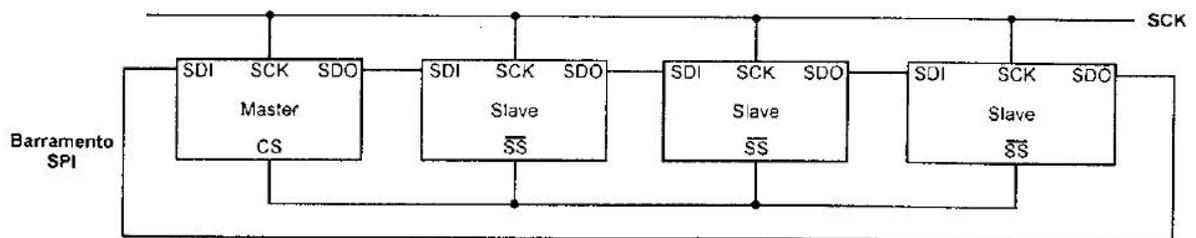


Figura 25: Conexão em cascata SPI [14].

A comunicação SD, trata-se de uma comunicação nibble a nibble, ou seja, os dados são transferidos de quatro em quatro bits, resultando um fluxo de dados superior à comunicação SPI. No entanto, a comunicação SD não está presente na maioria dos microcontroladores de baixo custo [14].

2.8. Microcontrolador PIC18F4550

Para o controle de circuitos eletrônicos, isto inclui os *data loggers*, os microcontroladores estão entre as ferramentas mais utilizadas. Dentre eles, a família 18F da fabricante Microchip vem tendo uma gama de aplicações diversa. Isto se deve as qualidades em termos de facilidade de acesso, programação e quantidade de periféricos disponíveis nos microcontroladores [16].

Nesta família da Microchip o PIC18F4550 é um dos mais destacados, tendo como principais características:

- Memória FLASH para armazenamento de programa: 32 Kbytes;
- Memória SRAM para armazenamento de dados: 2 Kbytes;
- Memória EEPROM de dados: 256 bytes;
- Portas configuráveis como entradas ou saídas digitais: 35;

- Portas configuráveis como canais de entradas analógicas: 13;
- Módulo CCP (Capture / Compare / PWM);
- Porta paralela de 8 bits (SPP – *Streaming Parallela Port*);
- Temporizadores de 8 e 16-bits: 4;
- Frequência de operação de até 48 MHz;
- Múltiplas fontes de interrupção (20);
- Periféricos avançados de comunicação. Porta de comunicação serial, Porta de comunicação USB 2.0;
- Portas de entrada e saída (RA, RB, RC, RD e RE);
- Canais de entradas analógicas (AN);

2.8.1. Pinagem do PIC18F4550

Na figura 26 é mostrada a pinagem do PIC18F4550.

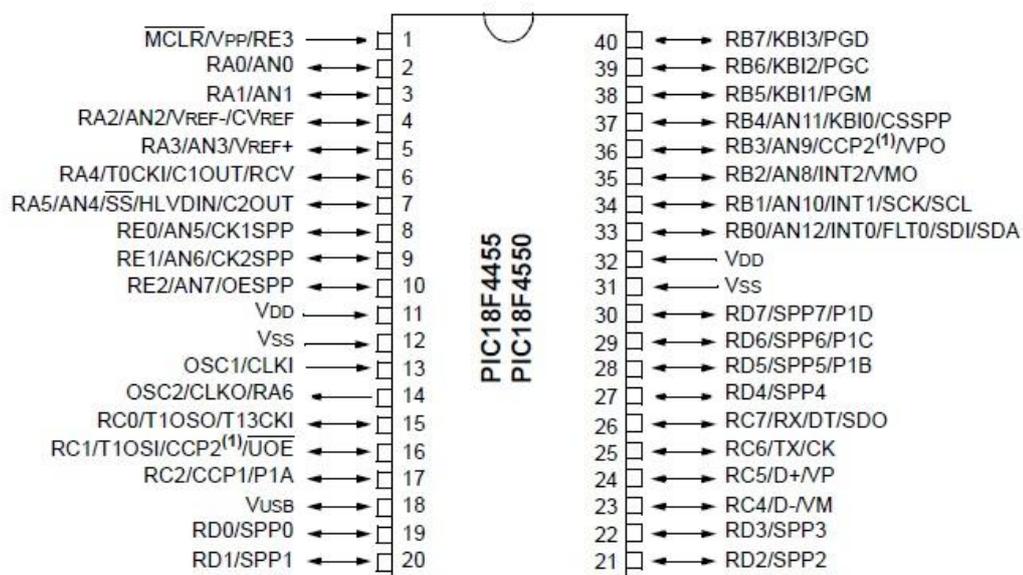


Figura 26: Pinagem PIC18F4550 [16].

Conforme tabela abaixo (tabela 3) segue outras características do PIC 18F4550.

Tabela 3: Detalhes do PIC18F4550
 [16].

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI™	Master i ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção trata da descrição dos procedimentos e ferramentas utilizadas na concepção do trabalho. Especificamente, descrever o modo como foi implementado o circuito do *data logger*, composto pela placa de controle sensores, sensores e condicionadores de sinal, além do dispositivo de armazenamento de dados. Também está descrito como foram feitos os testes de calibração das medições.

3.1. Descrição Geral do Sistema Data Logger

Conforme mencionado anteriormente à construção do *data logger* foi baseada para utilização em sistemas de irrigação, com isso o estudo e a criação dos circuitos eletrônicos baseiam-se neste fundamento.

3.1.1. Circuito do Microcontrolador

O Circuito principal do projeto, o Microcontrolador, foi desenvolvido com o microcontrolador PIC18F4550. Este atendeu plenamente as necessidades do projeto com um número satisfatório de portas analógicas (AD) necessárias (cinco), comunicação RS-232, SPI, I/O, *timers* e outras características que foram consideradas necessárias para o andamento do projeto. Após, a montagem da placa (figura 27) realizaram-se testes para a verificação de algumas funcionalidades, tais como: leitura de ADs, testes das portas entrada e saída digital, *timers* e etc. Assim que as montagens dos circuitos eletrônicos foram concluídos, estes ficavam disponíveis para os primeiros testes.

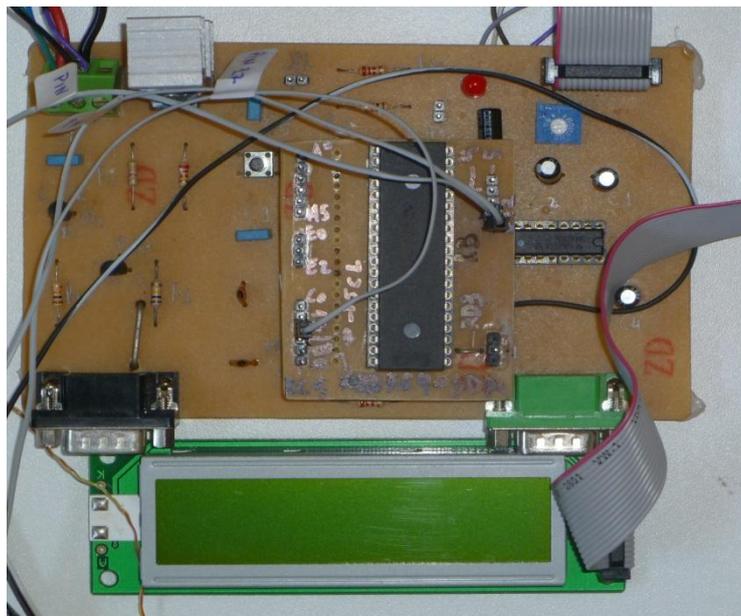


Figura 27: Placa do Microcontrolador com Display 16x2.

Na montagem deste hardware, o microcontrolador se comunica através de comunicação USART a uma taxa de 19200 bps. Os terminais utilizados são o RB2 (RXD) e RB4 (TXD). Entretanto, na comunicação SPI utilizaram-se os seguintes pinos: RB0(SDI), RB1(SCL), RC2(SELECT) e RC7(SDO).

A leitura dos sinais de interesse, tais como tensão, corrente, temperatura e umidade foram feitas através dos pinos de I/O e respectivamente por: RA0, RA1, RA2, RA4 e também pelo RA5 que captura a temperatura de compensação utilizada na leitura do sensor de umidade.

E como chaves seletoras, tais como, seleção, confirmação e retorno ao menu principal, as I/O foram configuradas com o RE0, RE1 e RE2 conforme a ordem.

3.1.2. Circuito para Leitura de Tensão

Neste circuito, o principal responsável pela conversão da tensão lida para um valor mensurável é o transformador de potencial. Este valor precisa estar dentro dos valores de leitura aceitáveis pelo PIC, ou seja, 0 V_{DC} a 5 V_{DC} . Para tal, construiu-se um retificador de precisão utilizando um transformador de 127/220 V_{CA} para 3 V_{DC} . A função principal deste circuito é transferir totalmente a tensão retificada na entrada para saída, sem permitir que as perdas nos diodos fossem um fator considerável.

O hardware é baseado em um retificador de onda completa com amplificador operacional, o mesmo é composto de dois circuitos operacionais, conforme figura 28.

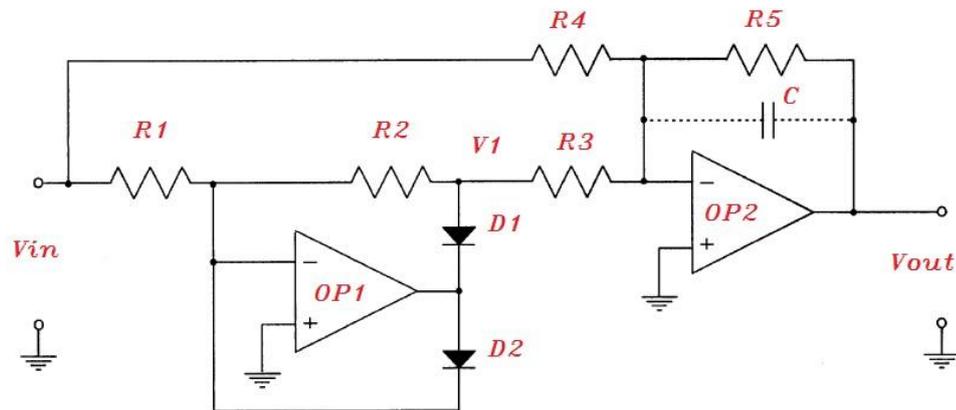


Figura 28: Retificador de precisão com amplificador operacional [17].

1º circuito - retificador de meia onda de precisão possui ganho unitário uma vez que $R1$ e $R2$ tem o mesmo valor;

2º circuito - somador com duas entradas e dois pesos, este circuito é composto de um amplificador inversor que amplifica a soma das entradas V_{in} e $V1$. A entrada V_{in} é amplificada com ganho unitário, pois, o resistor de entrada $R4$ tem o mesmo valor do resistor de realimentação $R5$. A entrada $V1$ (da saída do retificador de meia onda) é amplificada com ganho dois, pois o resistor de entrada $R3$ tem a metade do valor do resistor de realimentação $R5$. E neste caso a saída é a soma das duas entradas invertidas, conforme equação 7.

$$V_{out} = V_{in} + 2 \cdot V_1 \quad (7)$$

No semi-ciclo positivo o retificador de meia onda $OP1$ corta este semi-ciclo e no ponto $V1$ a tensão é $0V$. A saída só amplifica e inverte a entrada.

Entretanto, no semi-ciclo negativo o retificador de meia onda conduz fazendo aparecer em $V1$ o semi-ciclo positivo invertido. O outro caminho via $R4$ também continua funcionando no semi-ciclo negativo. O circuito somador $OP1$ soma a entrada $V1$ com ganho dois mais a entrada V_{in} com ganho unitário, o resultado desta operação é a cópia da tensão de entrada V_{in} . E para que se tenha uma saída perfeita com sinal contínuo, é adequando inserir um capacitor eletrolítico para propiciar este efeito na saída, o valor do capacitor poderá ser tipicamente de $10 \mu F$.

Na figura 29, pode-se ver o circuito montado.



Figura 29: Circuito montado do Retificador de precisão com amplificador operacional

3.1.3. Circuito para Leitura de Corrente

Conforme descrito na revisão bibliográfica, existem algumas maneiras para a medição de corrente e uma das formas apresentadas foi por efeito hall, esta foi a utilizada no trabalho. O componente ACS712 do fabricante Allegro Micro System, que é um sensor de efeito hall foi aplicado para medir corrente.

A partir do *datasheet* do componente pode-se montar um circuito adequado à aplicação desejada. O CI ACS712 tem frequência no sinal da tensão de saída proporcional ao valor da frequência do sinal de corrente aplicado em sua entrada, e como se deseja realizar um controle através do PIC e a corrente medida é alternada, um diodo retificador foi necessário na saída do circuito(ver figura 30 e 31. O ACS com zero ampères apresenta uma tensão de $V_{CC}/2 \pm 100 \text{ mV/A}$, sendo que este valor poderá chegar a até $4,5V_{DC}$ baseado na resolução de medida do CI, 20 Ampères.

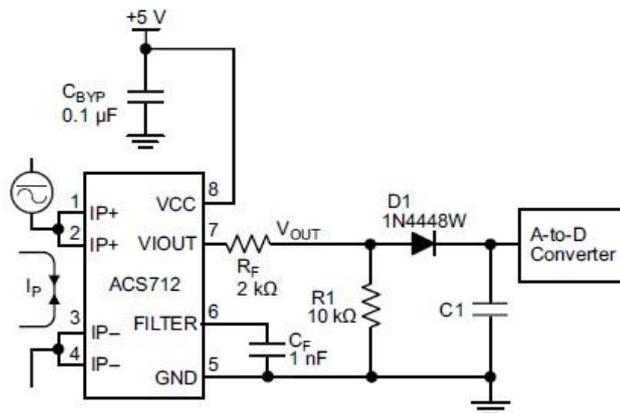


Figura 30: Circuito típico medidor de corrente com saída retificada [6].

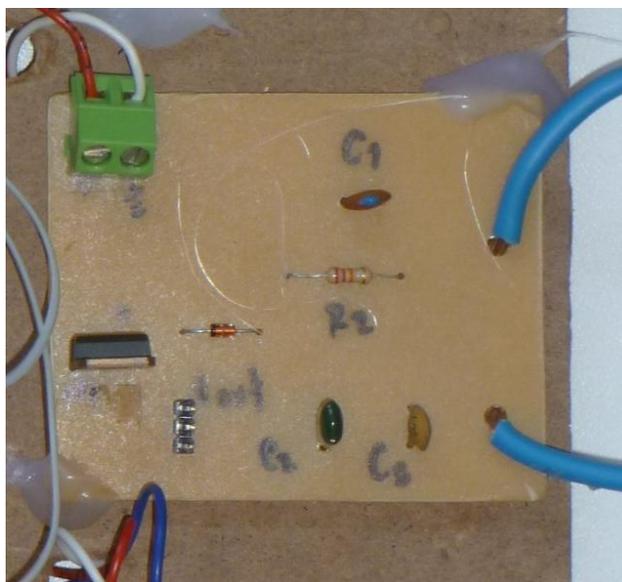


Figura 31: Circuito Montado medidor de corrente com saída retificada

3.1.4. Circuito para medição de Temperatura

Para medição de temperatura foi utilizado como sensor o termopar tipo K. O uso deste sensor exigiu o desenvolvimento de alguns circuitos que fizessem a leitura do sinal gerado. Com isto, desenvolveu-se o circuito, conforme figura 32 e 33, em 4 etapas: condicionador, compensação de junta fria, somador e amplificador.

A primeira etapa é o condicionador, que tem como objetivo proporcionar um ganho ao sinal de tensão gerado pelo termopar. Nesta parte, o circuito é composto pelo amplificador de instrumentação INA114 para a leitura do sinal gerado pelo sensor de temperatura. O ganho da primeira etapa foi de 250 para que a escala de

tensão do termopar à temperatura ambiente fosse da mesma ordem da compensação da junta fria.

Sabe-se que a 25°C o termopar tipo K gera em seus terminais de medição o valor de 1 mV com a compensação de junta a 0°C. A tabela do anexo 1, com as temperaturas e tensões de saída do termopar tipo K, foi utilizada no ajuste da compensação.

Com outro sensor foi possível realizar a compensação da temperatura ambiente, que conforme a tabela foi calibrada com a junta a 0°C. Com um LM35 compensou-se a perda na medida do sensor termopar, adicionando a temperatura ambiente ao sinal lido. Portanto, com a segunda e terceira (somador ganho unitário) etapas foi possível compensar e somar os sinais, para que estes posteriormente fossem lidos pelo microcontrolador. Chegando-se na última etapa, conclui-se a montagem do circuito, com a amplificação do sinal da etapa anterior com um ganho de 2.16, levando o sinal ao um nível de melhor amplitude para ser lido pelo PIC na entrada analógica (RA3).

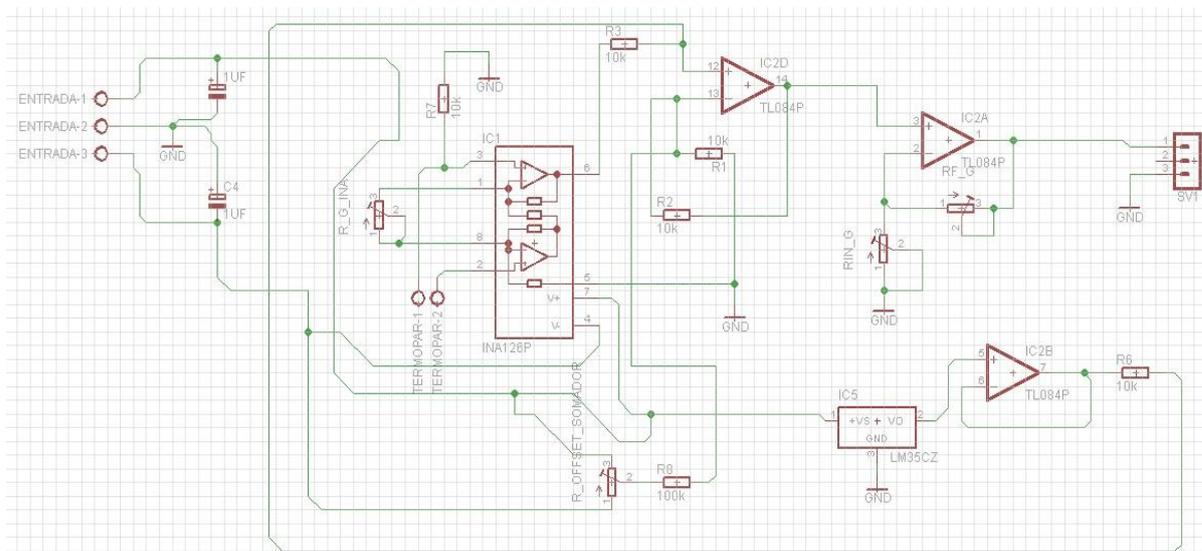


Figura 32: Circuito Medidor de Temperatura

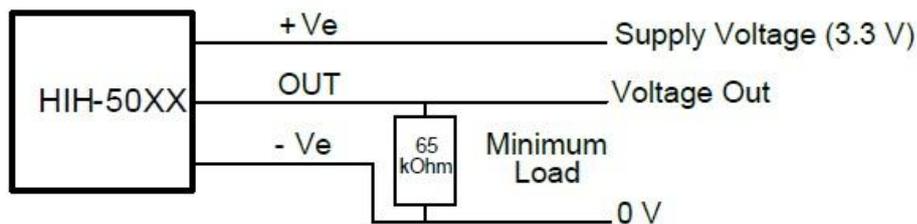


Figura 34: Circuito Medidor de Umidade [13].

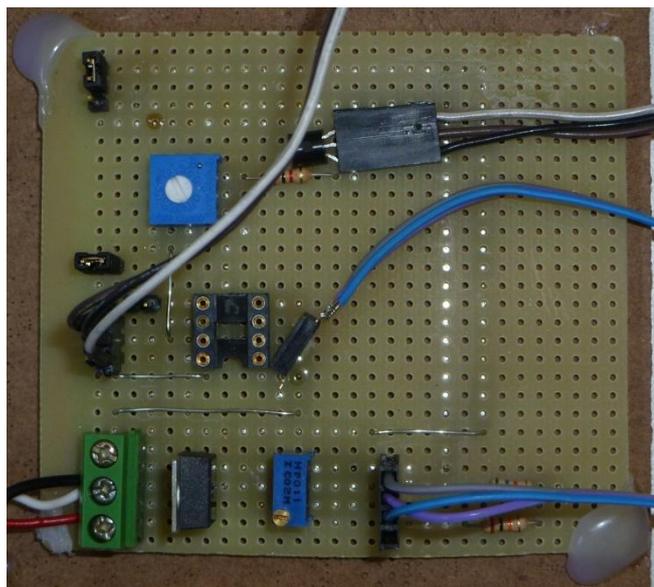


Figura 35: Circuito Montado Medidor de Umidade.

3.1.6. Circuito do Cartão SD

O cartão de memória SD é o coração do projeto *DataLogger*, ele é o responsável por armazenar todas as medições que realizas pelos sensores dos circuitos do projeto, ou seja, nele as leituras dos sensores ficam armazenadas.

O circuito utilizado para a comunicação entre o PIC e o cartão de memória SD foi baseado em [14], nesta bibliografia existem dois tipos de circuito e cada um depende da alimentação do PIC.

Considerando que a alimentação do circuito do microcontrolador é realizado com uma tensão de 5 V_{DC}, foi necessário colocar alguns resistores nos pinos de comunicação entre o PIC e o cartão, formando um divisor de tensão para não danificar o *Sd Card* (ver figura 36 e 37). Conforme explanado na revisão bibliográfica a comunicação entre o cartão SD e o PIC é através da comunicação SPI que utiliza 4 pinos pré definidos para a comunicação. No PIC 18F4550 utiliza-se os

pinos RB0 como SCK (sinal de clock), RB1 para SDI (entrada de dado), RC2 para o SS (seleção) e RC7 como SDO (saída de dado). Posteriormente, foram utilizados exemplos do próprio programador para testar a escrita e leitura do cartão, porém foi necessário realizar ajustes nos defeitos e incompatibilidades das bibliotecas FAT.c e MMCSD.c, que de certa forma funcionaram de forma bastante limitada.

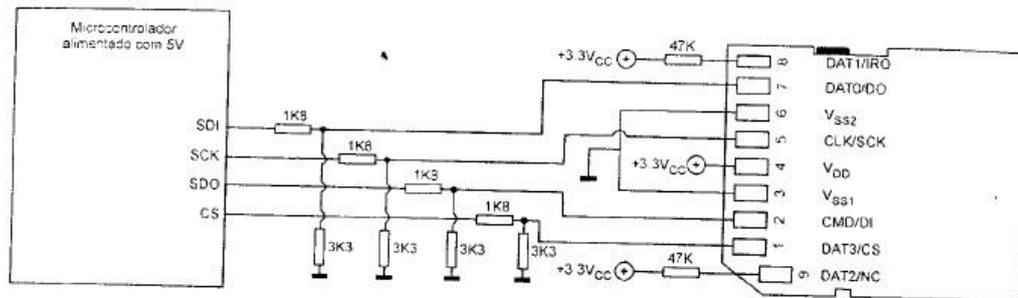


Figura 36: Circuito do PIC com cartão de memória SD [14].

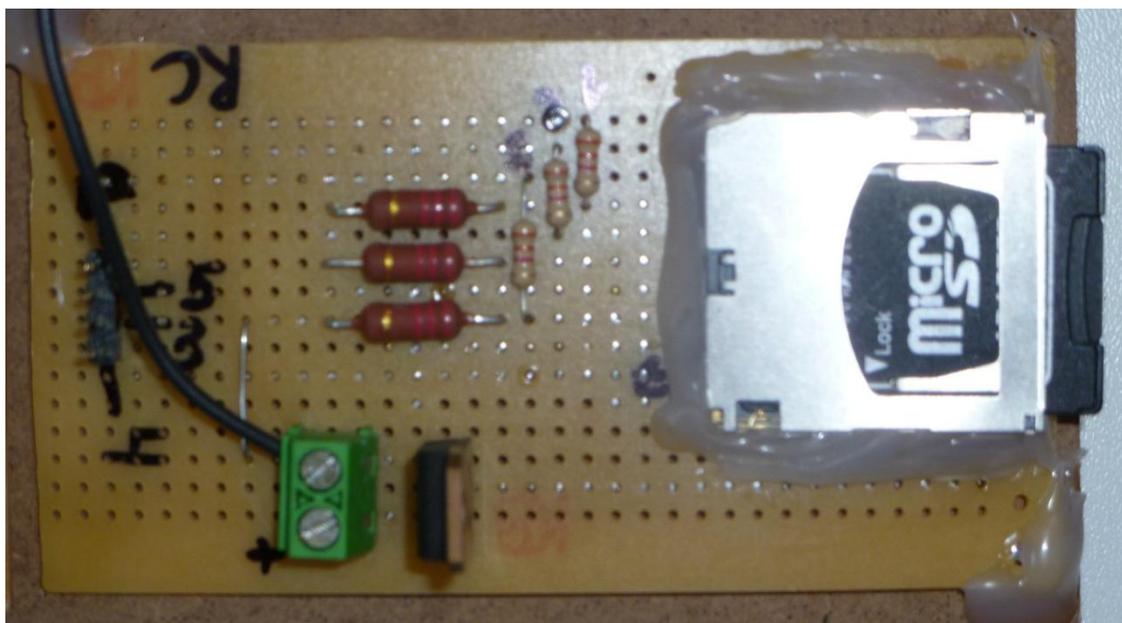


Figura 37: Circuito Montado do PIC com cartão de memória SD.

3.1.7. Circuito da Fonte de Alimentação

A alimentação de todos os hardwares do projeto *Data Logger* foi de uma fonte simétrica de $-15 V_{DC}$ e $+15 V_{DC}$, conforme figura 38. Utilizou-se de um trafo de $15 V_{CA} + 15 V_{CA}$ de 2A para a redução da tensão rede e uma ponte de diodos realizou a retificação. Como filtros utilizou-se dois capacitores de 2200uF para condicionar o sinal retificado. E como proteção para sobre corrente usou-se TIP 31 e TIP32 e variação da tensão na saída os LM317 e 337.

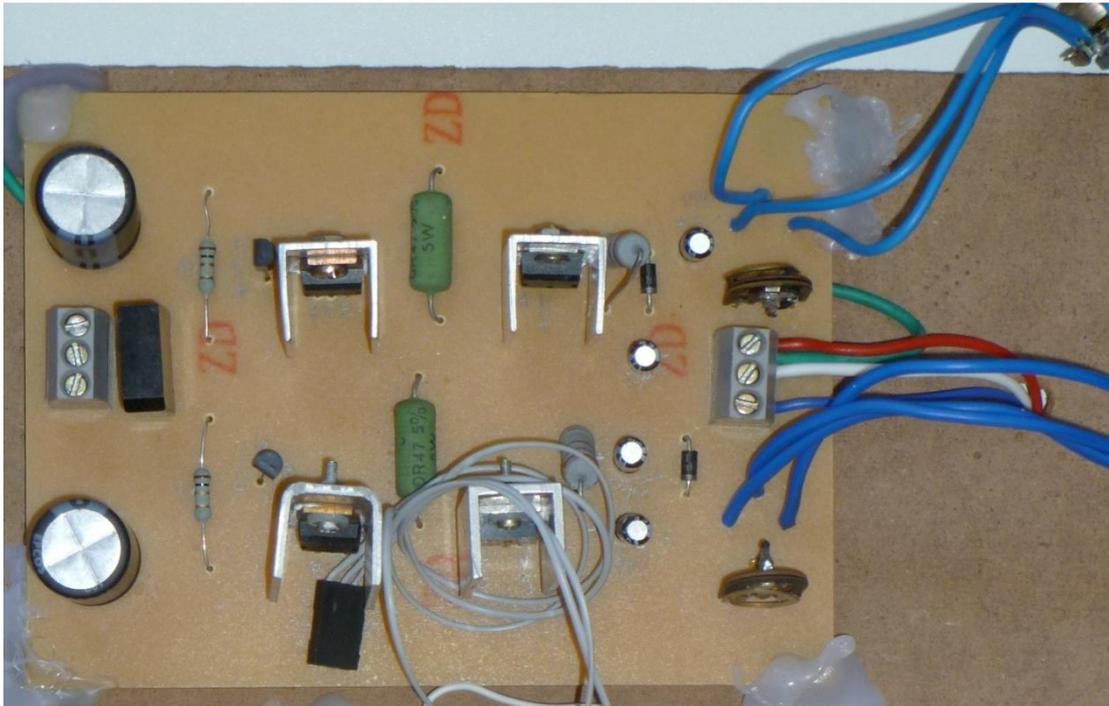


Figura 38: Circuito Montado da fonte alimentação dos hardwares do *Data Logger*.

3.2. Calibração dos Circuitos de Medição

A calibração é o melhor método para garantir uma ótima aferição e confiabilidade nas medidas realizadas pelos sensores. Com ela pode-se garantir o menor erro possível para todas as medidas.

3.2.1. Circuito para Leitura de Tensão

No circuito medidor de tensão alternada utilizou-se de um varivolt para gerar as tensões alternadas, que seriam reduzidas pelo trafo ($127/220 V_{AC} - 3+3 V_{DC}$) do circuito. Geraram-se valores de 0 a 222 V_{AC} e mediram-se os valores convertidos pelo PIC. Posteriormente, pode-se fazer uma correlação dos valores gerados pelo Varivolt x valores convertidos pelo PIC, assim criando uma tabela (Apêndice A) para ser inserida na rotina de leitura e medição.

3.2.2. Circuito para Leitura de Corrente

Para a calibração da leitura de corrente alterna o procedimento foi similar ao utilizado no circuito de tensão. Por sua vez, necessitou-se colocar o circuito medidor em série a outro circuito, e assim realizar a medida. No momento da calibração optou-se por utilizar o mesmo gerador de tensão alternada, o varivolt, e colocou-se o circuito em série com uma resistência de um chuveiro. Desta maneira,

variando-se a tensão no circuito mediu-se a corrente aplicada através do multímetro Fluke (Modelo 117 True-RMS) e comparou-se com a medida feita pelo PIC. Novamente se utilizou de uma tabela para inserir na rotina do programa, para garantir um erro pequeno nas leituras e medições, conforme Apêndice B.

3.2.3. Circuito para medição de Temperatura

Na calibração do circuito medidor de temperatura foi utilizado um calibrador portátil de temperatura e grandezas elétricas, o Cappel Plus (Anexo A). Este equipamento é capaz de gerar padrões de tensão como as geradas por um termopar, assim foi possível simular literalmente a tabela do termopar K, com sua junta a 0°C ou compensada. Este artifício propiciou uma maior confiabilidade na calibração, pois as medidas inseridas no circuito foram exatamente como as de um termopar na prática. Com o auxílio da tabela ITS-90, disponível em [9], que descreve os valores de calibração de um termopar com junta a 0°C, aplicaram-se diversos valores de tensões/temperatura e comparou-se com os valores convertidos pelo PIC. Entretanto, uma linearização foi feita para garantir uma melhor confiabilidade, ou seja, criou-se uma tabela (Apêndice C) de valores inseridos x valores lidos para a geração de uma equação do comportamento do sistema de medição de temperatura.

3.2.4. Circuito para medição da Umidade

O circuito para medição de umidade está baseado na curva de linearização fornecida no *datasheet* do fabricante Honeywell. O *hardware* está fundamentado em cima das especificações do fabricante e as medidas da RH% estão no gráfico de tensão x saída conforme citado na revisão bibliográfica do sensor.

3.2.5. Programação do Microcontrolador

A programação do Kit Microcontrolador e o dos hardwares medidor foram feitas no Programador e Compilador CCS C Compiler com versão 4.078.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao longo do desenvolvimento deste projeto sensores eletrônicos foram pesquisados a fim de medir diferentes grandezas e atender foco principal do projeto, monitorar grandezas físicas usadas em sistemas de irrigação.

O Circuito principal do projeto, o Microcontrolador, num primeiro momento foi desenvolvido com o PIC16F877A. Este possuía exatamente o número de portas analógicas (AD) necessárias (cinco), comunicação RS-232, SPI, I/O, timers e outras características que foram avaliadas necessárias para o andamento do projeto. Entretanto, ao final dos testes e calibrações percebeu-se que justamente para o circuito do cartão de memória SD, a memória de programa do PIC16F877A era insuficiente para progredir com a rotina do *software* e seguir com a programação. Para o tal, a solução foi trocar o microcontrolador por um PIC18F4550, que tem mais memória que o anterior e externamente é idêntico, com 40 pinos e as principais funções nos mesmos pinos que o 16F877A.

A calibração dos circuitos de medição foi feita por meio da linearização. Criou-se uma tabela com os sinais simulados na entrada do circuito medidor, que corresponde ao valor medido pelo sensor, correlacionou-o com o sinal de saída, valor lido e convertido pelo PIC18F4550. Isto possibilitou encontrar uma equação onde a qualquer variação na entrada do circuito terá uma resposta na saída. Todos os circuitos tiveram essa linearização, exceto o circuito medidor de umidade, pois o mesmo já apresenta uma curva de correlação fornecida pelo fabricante.

Matematicamente, a linearização é um método que traz bons resultados para o ajuste e calibração em sensores que apresentam saída não linear ou quase linear. Isto pode ocorrer porque justamente na prática existem diversas variáveis físicas que podem influenciar nas medições de um sensor.

No circuito medidor de temperatura a calibração foi feita com o calibrador Cappel Plus, este como já citado anteriormente tem a capacidade de simular o comportamento de um termopar. Partindo dessa premissa foi possível observar o comportamento do circuito em toda sua faixa e obter uma comparação da entrada com a sua saída. Nesta calibração o erro máximo encontrado na faixa 5°C a 45°C foi de 3%.

No entanto, observou-se que para valores abaixo da faixa de 2°C e acima de 250°C até 255°C, o valor máximo, não se obteve uma ótima resposta. Contudo, como a medição de temperatura para sistemas de irrigação a faixa de trabalho é de 5°C a 45°C, neste intervalo os resultados foram satisfatórios.

Para efeito de comparação após o levantamento da curva de resposta do sensor/condicionador e o tratamento do dado no microprocessador, foi feita a calibração com o Calibrador Cappel. Conforme tabela 4 pode-se observar o erro do medidor em relação ao Calibrador. Cabe salientar que instrumento Cappel Plus, pertencente a Petrobrás S.A, é calibrado e certificado periodicamente.

Tabela 4: Tabela com ensaios para verificação de erro de temperatura.

Medição C/ Cappel(°C)	Circuito Medidor(°C)	Erro Percentual
10	11,5	15%
22,2	23,2	5%
25,9	26,8	3%
38,5	39,3	2%
45,5	46,3	2%
50	50,5	1%

No circuito Medidor de Tensão, utilizou-se a mesma técnica aplicada para verificar o erro das medidas de temperatura. Porém o multímetro utilizado foi o Fluke (Modelo 117 True-RMS). Com isto, escolheram-se dois valores de tensão (127 e 200 V_{CA}) e a partir da resolução 505 art. 2º número IX da Aneel, aplicou-se um fator de +/- 10% para calcular o erro das medidas, ou seja, foi comparado o valor aplicado (lido com o multímetro) com do Medidor de Tensão (tabela 5).

Tabela 5: Tabela com o 1º ensaio para verificação de erros de tensão.

Medição C/ Multímetro (V)	Circuito Medidor (V)	Erro Percentual
113,5	113	0,4%
118	117,5	0,4%
122,5	121	1,2%
127	126,7	0,2%
131,8	130,9	0,7%
136	135,5	0,4%
140,5	139,8	0,5%

Tabela 6: Tabela com o 2º ensaio para verificação de erros de tensão.

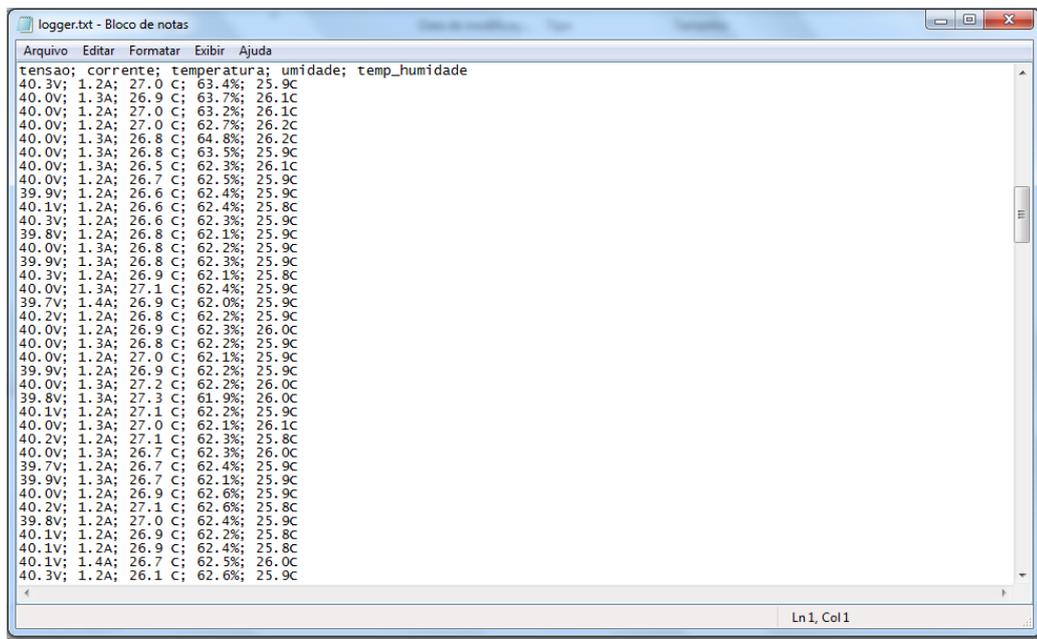
Medição C/ Multímetro (V)	Circuito Medidor (V)	Erro Percentual
200	199,8	0,1%
205	204,5	0,2%
210	209,1	0,4%
215	214,7	0,1%
220	219,6	0,2%

Para o circuito Medidor de Corrente, o procedimento para verificação de erros é o mesmo feito no processo para medição de tensão. A diferença ocorre unicamente em relação à grandeza medida, pois em um processo mede-se tensão e outro corrente. Conforme a tabela 6, os valores podem ser comparados.

Tabela 7: Tabela com ensaios para verificação de erro de corrente.

Medição C/ Multímetro(I)	Circuito Medidor(I)	Erro Percentual
4,09	4,16	1,71%
4,25	4,30	1,18%
4,50	4,59	2,00%
4,75	4,80	1,05%
5,00	5,05	1,00%
5,25	5,33	1,52%
5,55	5,58	0,54%
5,75	5,83	1,39%
6,00	6,07	1,17%

Para escrita e leitura no cartão de memória SD, foi preciso utilizar duas bibliotecas do software de programação (CCS C Compiler) que foram FAT.c e MMCSd. Estas são duas das principais bibliotecas para a comunicação do cartão SD com o PIC. Elas manipulam os dados para escrita e leitura do cartão para se possam ler os dados posteriormente em qualquer computador. No entanto, foi justamente nos testes que se deparou as deficiências de ambas as bibliotecas. Tanto uma quanto a outra funcionaram de forma limitada, pelo fato corromperem os dados e muitas vezes não aceitarem que os dados salvos no cartão sejam manipulados por um software de alto nível, como por exemplo, o Windows. Portanto, comprometem a confiabilidade de escrita e leitura dos dados das medições proveniente dos sensores. Com isto, foi preciso trabalhar dentro das limitações impostas pelas bibliotecas. A figura 39 mostra a imagem de como as informações ficam gravado no arquivo TXT do Windows.



```
logger.txt - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
tensao; corrente; temperatura; umidade; temp_humidade
40.3v; 1.2A; 27.0 C; 63.4%; 25.9C
40.0v; 1.3A; 26.9 C; 63.7%; 26.1C
40.0v; 1.2A; 27.0 C; 63.2%; 26.1C
40.0v; 1.2A; 27.0 C; 62.7%; 26.2C
40.0v; 1.3A; 26.8 C; 64.8%; 26.2C
40.0v; 1.3A; 26.8 C; 63.5%; 25.9C
40.0v; 1.3A; 26.5 C; 62.3%; 26.1C
40.0v; 1.2A; 26.7 C; 62.5%; 25.9C
39.9v; 1.2A; 26.6 C; 62.4%; 25.9C
40.1v; 1.2A; 26.6 C; 62.4%; 25.8C
40.3v; 1.2A; 26.6 C; 62.3%; 25.9C
39.8v; 1.2A; 26.8 C; 62.1%; 25.9C
40.0v; 1.3A; 26.8 C; 62.2%; 25.9C
39.9v; 1.3A; 26.8 C; 62.3%; 25.9C
40.3v; 1.2A; 26.9 C; 62.1%; 25.8C
40.0v; 1.3A; 27.1 C; 62.4%; 25.9C
39.7v; 1.4A; 26.9 C; 62.0%; 25.9C
40.2v; 1.2A; 26.8 C; 62.2%; 25.9C
40.0v; 1.2A; 26.9 C; 62.3%; 26.0C
40.0v; 1.3A; 26.8 C; 62.2%; 25.9C
40.0v; 1.2A; 27.0 C; 62.1%; 25.9C
39.9v; 1.2A; 26.9 C; 62.2%; 25.9C
40.0v; 1.3A; 27.2 C; 62.2%; 26.0C
39.8v; 1.3A; 27.3 C; 61.9%; 26.0C
40.1v; 1.2A; 27.1 C; 62.2%; 25.9C
40.0v; 1.3A; 27.0 C; 62.1%; 26.1C
40.2v; 1.2A; 27.1 C; 62.3%; 25.8C
40.0v; 1.3A; 26.7 C; 62.3%; 26.0C
39.7v; 1.2A; 26.7 C; 62.4%; 25.9C
39.9v; 1.3A; 26.7 C; 62.1%; 25.9C
40.0v; 1.2A; 26.9 C; 62.6%; 25.9C
40.2v; 1.2A; 27.1 C; 62.6%; 25.8C
39.8v; 1.2A; 27.0 C; 62.4%; 25.9C
40.1v; 1.2A; 26.9 C; 62.2%; 25.8C
40.1v; 1.2A; 26.9 C; 62.4%; 25.8C
40.1v; 1.4A; 26.7 C; 62.5%; 26.0C
40.3v; 1.2A; 26.1 C; 62.6%; 25.9C
```

Figura 39: Imagem das informações gravadas no arquivo Logger.txt do Windows.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal proposta deste trabalho era medir e armazenar o monitoramento de grandezas físicas utilizadas em um sistema de irrigação, e este objetivo foi alcançado de forma satisfatória.

Além disso, foi possível perceber que a monitoração é fundamental para sistemas que dependem da repetibilidade. Tais sistemas, como a irrigação, dependem constantemente de avaliações para que não sofram de influências externas, prejudicando o crescimento de uma plantação.

O controle das medidas de temperatura, umidade, tensão e corrente tiveram um papel fundamental no projeto, pois dentro de sistemas de irrigação essas grandezas influenciam na avaliação do controle a ser empregado em uma plantação. Portanto, com os resultados obtidos pelos circuitos medidores, apesar de terem apresentado um erro pequeno, o protótipo desenvolvido garante qualidade de monitoração para um sistema de irrigação.

Outra função importante do trabalho foi questão do armazenamento das informações medidas pelos sensores, na qual se usou um cartão de memória SD. Entretanto, mesmo com os problemas encontrados nas bibliotecas de controle fornecidas pelo fabricante do compilador foi possível salvar os dados para posteriormente analisa-los em um computador.

Tendo em vista, que dificuldades foram encontradas durante a execução deste protótipo e com algumas adaptações e melhorias pode-se aprimorar e ampliar o nível confiabilidade e funcionalidades deste protótipo.

Portanto, se tratando de um protótipo, cabe citar melhorias que futuramente poderão enriquecer o mesmo:

- Testar ou tipo de compensação de junta fria, utilizando um bloco isotérmico no sensor de compensação;



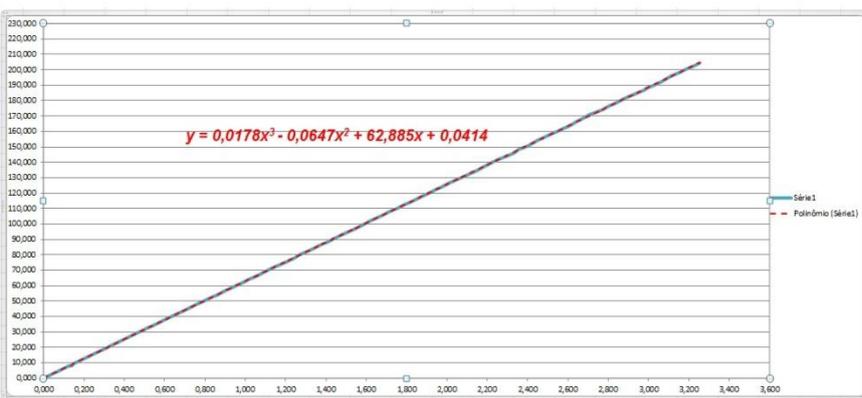
- Melhorar a comunicação entre o PIC e o cartão SD, montando um novo hardware que não comprometa as informações medidas pelos sensores;
- Montar e desenvolver um hardware que possa inserir data e hora para cada medição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - PORTAL ELETROBRAS. Disponível em URL: [http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS293E16C4PTBRIE.htm] acessado em Outubro de 2012.
- [2] - Embrapa. Sistemas de Produção. Disponível em URL: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/imetodos.htm] acessado em Outubro de 2012.
- [3] - Novus. Disponível em URL: [http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=803220&SubsecaoID=0] acessado em Outubro de 2012.
- [4] - OMEGA. Engineering Technical Reference. Disponível em URL: [http://www.omega.com/prodinfo/dataloggers.html] acessado em Outubro de 2012.
- [5] - IEEE. Disponível em URL: [http://www.ieee.org.br/tldamerica2010/T_D_2010_Brasil_paineis_PDF/on%2008_11/room%202/afternoon/ABB_rogowski.pdf] acessado em Outubro de 2012.
- [6] - ALLEGRO MICRO SYSTEM. Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC. Folha de Dados. USA, October 2011.
- [7] - HONEYWELL. Hall Effect Sensing and Application.
- [8] - BERTINI, L.A., Transformadores Teorias, Práticas e Dicas para Transformadores de Pequena Potência, Eltec Editora LTDA: São Paulo, 2003.
- [9] - BALBINOT, A., BRUSAMARELLO, V. J. Instrumentação e Fundamentos de Medidas, V.1. LTC: Rio de Janeiro, 2010.
- [10] - Edtec Sistemas de Precisão. Disponível em URL: [http://www.edtec.com.br/termopares.htm] acessado em Outubro de 2012.
- [11] - IOPE Termopares. Disponível em URL: [http://www.iope.com.br/3ia3_termopares.htm] acessado em Outubro de 2012.
- [12] - BALBINOT, A., BRUSAMARELLO, V. J. Instrumentação e Fundamentos de Medidas, V.1. LTC: Rio de Janeiro, 2011.
- [13] - HONEYWELL. HIH-5030/5031 Series – Low Voltage Humidity Sensors. USA, 2010 [folha de dados].
- [14] - MIYADAIRA, A. N. Microcontroladores PIC18, 2ª Edição, Editora Érica: São Paulo, 2011.
- [15] - SANDISK. Disponível em URL: [http://www.sandisk.com.br/consumer-products] acessado em Outubro 2012.
- [16] - MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Pic18F4550. Usa, 2006.
- [17] - WEBSTER, J.G. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, CRC Press LLC, 1999.

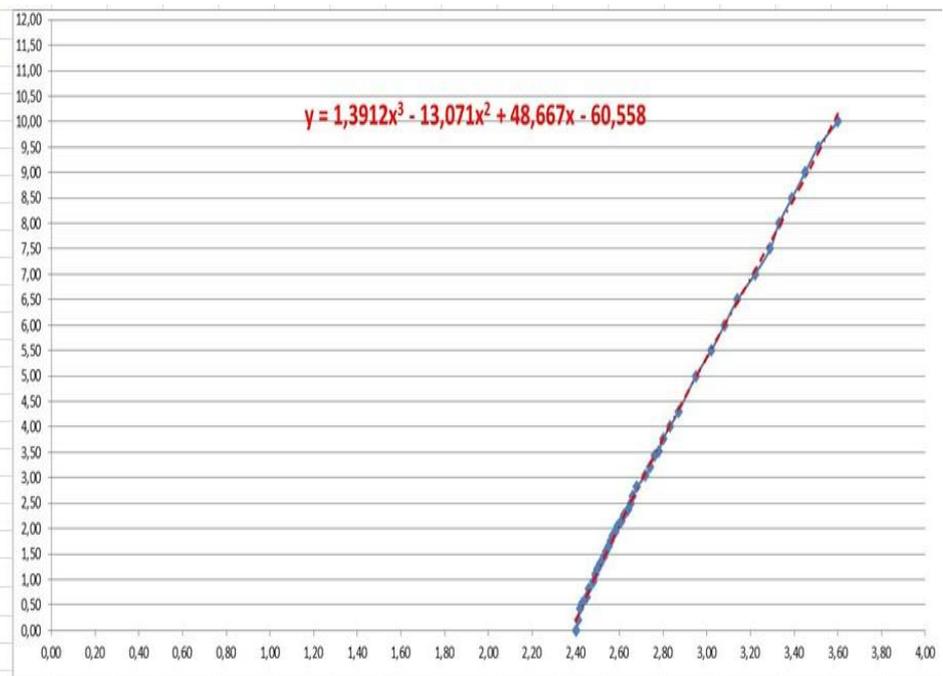
APÊNDICE A – TABELA CIRCUITO MEDIDOR DE TENSÃO

Tensão(DC)	Tensão(AC)	Tensão(DC)	Tensão(AC)
0,000	0,000	1,533	96,200
0,012	0,800	1,564	98,100
0,017	1,150	1,602	100,800
0,019	1,280	1,622	102,200
0,024	1,600	1,655	104,100
0,032	2,000	1,689	106,200
0,038	2,400	1,720	108,400
0,044	2,830	1,755	110,200
0,050	3,170	1,789	112,500
0,058	3,660	1,819	114,100
0,063	4,000	1,850	116,200
0,070	4,380	1,886	118,500
0,080	5,080	1,913	120,100
0,088	5,600	1,945	122,300
0,101	6,400	1,975	124,000
0,112	7,070	2,005	126,200
0,123	7,850	2,036	128,000
0,139	8,000	2,070	130,000
0,148	9,320	2,113	132,500
0,152	9,590	2,145	134,400
0,162	10,250	2,197	138,100
0,190	12,020	2,228	140,200
0,224	14,150	2,263	142,300
0,259	16,350	2,299	144,100
0,286	18,000	2,337	146,400
0,323	20,400	2,357	148,400
0,352	22,260	2,396	150,300
0,391	24,710	2,428	152,600
0,413	26,100	2,452	154,400
0,450	28,500	2,488	156,500
0,490	30,920	2,512	158,100
0,518	32,800	2,556	160,500
0,545	34,280	2,579	162,000
0,579	36,460	2,614	164,000
0,605	38,200	2,640	166,200
0,640	40,390	2,675	168,500
0,677	42,620	2,704	170,700
0,710	44,700	2,740	172,500
0,734	46,300	2,772	174,100
0,760	48,020	2,803	176,500
0,801	50,400	2,835	178,200
0,824	52,000	2,860	180,100
0,866	54,260	2,894	182,200
0,897	56,510	2,936	184,500
0,930	58,440	2,978	186,800
0,955	60,040	2,995	188,300
0,994	62,400	3,031	190,200
1,021	64,300	3,067	192,500
1,056	66,100	3,093	194,500
1,086	68,300	3,121	196,500
1,112	70,000	3,155	198,300
1,152	72,500	3,184	200,300
1,184	74,200	3,220	202,200
1,213	76,000	3,254	204,400
1,245	78,000	3,284	206,400
1,269	80,000	3,318	208,400
1,313	82,500	3,348	210,500
1,346	84,600	3,372	212,100
1,374	86,500	3,415	214,200
1,405	88,100	3,441	216,500
1,434	90,100	3,460	218,300
1,471	92,500	3,594	220,500
1,499	94,200	3,535	222,500



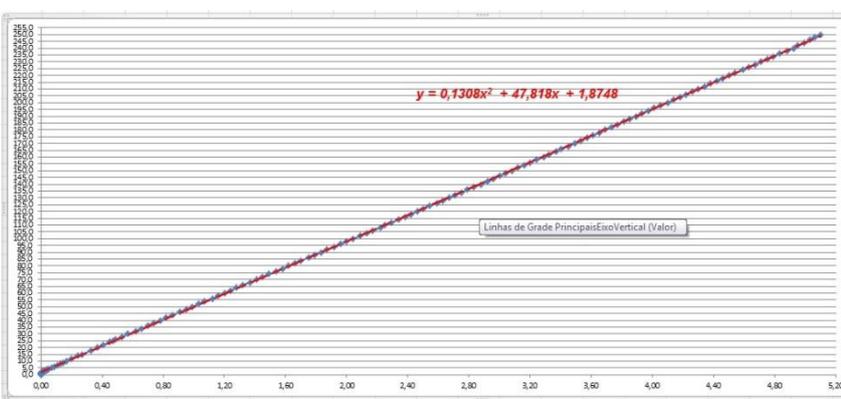
APÊNDICE B – TABELA CIRCUITO MEDIDOR DE CORRENTE

Tensão(V)	Corrente(A)	Tensão(V)	Corrente(A)
2,40	0,00	2,66	2,63
2,41	0,21	2,68	2,82
2,42	0,42	2,72	3,05
2,43	0,52	2,74	3,22
2,45	0,66	2,76	3,43
2,46	0,82	2,78	3,52
2,48	0,95	2,80	3,77
2,49	1,11	2,83	4,00
2,50	1,20	2,87	4,30
2,51	1,30	2,95	5,00
2,53	1,45	3,02	5,50
2,54	1,55	3,08	6,00
2,55	1,65	3,14	6,50
2,56	1,75	3,22	7,00
2,57	1,85	3,29	7,50
2,58	1,95	3,33	8,00
2,59	2,05	3,39	8,50
2,61	2,15	3,45	9,00
2,62	2,27	3,51	9,50
2,64	2,38	3,60	10,00
2,65	2,50		



APÊNDICE C – TABELA CIRCUITO MEDIDOR DE TEMPERATURA

Tensão[V]	Temperatura[°C]	Tensão[V]	Temperatura[°C]
0,00000	0,0	2,17000	106,0
0,00009	0,4	2,22000	108,0
0,00029	0,6	2,25000	110,0
0,00050	0,8	2,29000	112,0
0,00192	1,0	2,34000	114,0
0,00283	1,2	2,38000	116,0
0,00350	1,4	2,42000	118,0
0,00522	1,6	2,46000	120,0
0,00669	1,8	2,50000	122,0
0,00977	2,0	2,54000	124,0
0,01300	2,2	2,59000	126,0
0,01600	2,4	2,63000	128,0
0,01900	2,6	2,67000	130,0
0,02500	2,8	2,71000	132,0
0,02900	3,0	2,75000	134,0
0,03200	3,2	2,79000	136,0
0,03600	3,4	2,83000	138,0
0,04000	3,6	2,88000	140,0
0,04300	3,8	2,92000	142,0
0,04800	4,0	2,96000	144,0
0,07000	5,0	3,00000	146,0
0,08900	6,0	3,04000	148,0
0,10900	7,0	3,08000	150,0
0,12800	8,0	3,12000	152,0
0,14700	9,0	3,16000	154,0
0,16800	10,0	3,20000	156,0
0,20000	12,0	3,24000	158,0
0,24000	14,0	3,29000	160,0
0,27000	15,0	3,32000	162,0
0,33000	18,0	3,37000	164,0
0,37000	20,0	3,40000	166,0
0,41000	22,0	3,45000	168,0
0,45000	24,0	3,49000	170,0
0,47000	25,0	3,53000	172,0
0,49000	26,0	3,57000	174,0
0,53000	28,0	3,61000	176,0
0,57000	30,0	3,65000	178,0
0,62000	32,0	3,69000	180,0
0,66000	34,0	3,73000	182,0
0,70000	36,0	3,77000	184,0
0,74000	38,0	3,81000	186,0
0,78000	40,0	3,85000	188,0
0,82000	42,0	3,89000	190,0
0,86000	44,0	3,93000	192,0
0,91000	46,0	3,97000	194,0
0,95000	48,0	4,01000	196,0
0,99000	50,0	4,05000	198,0
1,03000	52,0	4,10000	200,0
1,07000	54,0	4,14000	202,0
1,12000	56,0	4,18000	204,0
1,16000	58,0	4,22000	206,0
1,20000	60,0	4,26000	208,0
1,24000	62,0	4,30000	210,0
1,28000	64,0	4,34000	212,0
1,32000	66,0	4,38000	214,0
1,37000	68,0	4,42000	216,0
1,41000	70,0	4,46000	218,0
1,45000	72,0	4,50000	220,0
1,49000	74,0	4,54000	222,0
1,54000	76,0	4,59000	224,0
1,58000	78,0	4,63000	226,0
1,62000	80,0	4,67000	228,0
1,66000	82,0	4,71000	230,0
1,70000	84,0	4,75000	232,0
1,75000	86,0	4,79000	234,0
1,79000	88,0	4,83000	236,0
1,83000	90,0	4,88000	238,0
1,87000	92,0	4,92000	240,0
1,92000	94,0	4,95000	242,0
1,96000	96,0	4,99000	244,0
2,00000	98,0	5,03000	246,0
2,04000	100,0	5,06000	248,0
2,09000	102,0	5,10000	250,0
2,13000	104,0		



ANEXO A – BOLETIM TÉCNICO DO EQUIPAMENTO CAPPO PLUS



Disponível em duas versões:

- Cappo 2 Plus (2 canais)
- Cappo 10 Plus (1 canal)

Teclado de policarbonato, com feedback tátil.

Display LCD, com retroiluminação.

Bateria de Ni-MH recarregável.

"Slidewire" para rápido ajuste dos valores de simulação.

CAPPO PLUS

O calibrador portátil **CAPPO PLUS** é um instrumento com múltiplas funções, projetado para atender as necessidades dos profissionais de instrumentação, tanto em trabalhos de laboratório quanto de calibração em campo.

Compacto, leve, robusto e de fácil operação. O **CAPPO PLUS** foi desenvolvido para ser utilizado nas diversas aplicações industriais. Concebido em duas versões, sendo uma o **CAPPO 10 PLUS** (um canal) e a outra o **CAPPO 2 PLUS** (dois canais).

A seleção das funções é realizada através de um teclado de membrana de policarbonato que garante até um milhão de toques por tecla.

É a solução ideal para medição e simulação de: mV, V, mA (loop ativo e passivo), ohms, termopares e termômetros de resistência.

Possui faixas de medição/simulação de: 20, 100 e 1000 milivolts, 10 V, 21 mA, 400 Ω , termopares (J, K, T, R, S, B, N, C, E, U, L e F), termorresistência (Pt100 IEC, JIS, US, Ni-100, Ni-120), com linearização IPTS ou ITS 90.

Possui comunicação RS-232 que permite a comunicação com PC.

Através de um procedimento denominado «Autorampa» permite a simulação contínua de curvas pré-configuradas de valores contínuos ou de passos de rampa.

Permite o armazenamento de até 9 configurações diferentes para simulação utilizando os dados armazenados na memória (até 60 valores).

Na versão **CAPPO 10 PLUS** uma fonte interna isolada permite a alimentação de transmissores a dois fios, já a versão **CAPPO 2 PLUS** possui duas fontes de alimentação sendo uma para cada canal, isoladas uma da outra.

A medida/simulação da corrente pode ser realizada tanto em loop ativo (energizado) como em loop passivo (requer alimentação).

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

- **Faixas de entrada e saída:** Ver tabela
- **Resolução:** Ver tabela
- **Limites de erro:** Ver tabela
- **Compensação da junção de referência:** Interna automática através de PT 100 e externa, com ajuste manual na faixa: -50° a 100°C
- **Escala Internacional de Temperatura:** IPTS 68 e ITS 90.
- **Corrente de excitação para simulação de RTD e Ω :** de 0,2 a 3mA.
- **Corrente de excitação para leitura de RTD e Ω :** 0,25mA.
- **Compensação da resistência do fio para leitura de RTD e Ω :** Até 100 Ω em cada fio.
- **Limite de erro da compensação da resistência do fio leitura de RTD e Ω :** +/-0,005°C/ Ω da resistência total do cabo.

- **Resistência "Shunt" para range em mA:** 38 Ω (canal 1). 105 Ω (canal 2).
- **Máxima resistência da carga para saída em mA:** 1000 Ω à 20mA.
- **Medição / Simulação de mA:** Loop ativo e passivo.
- **Máxima sobre tensão de entrada:** 50V (mV, V, Tc) e 5V (RTD apenas).
- **Máxima sobre corrente de entrada:** 100mA (mV, V, Tc) e 6mA (RTD apenas).
- **Display:** Cristal líquido de alto contraste, alfanumérico e retroiluminado
- **Indicação em unidades de engenharia:** Até quatro caracteres mostrados diretamente no display
- **Fator de escala:** "Zero" e "Span" programados dentro de -10000 à +10000 em combinação com a unidade de engenharia
- **Raiz quadrada:** Em combinação com o fator de escala (display de 0 à 2500)
- **Alimentação:** Quatro baterias de Ni-Mh, 1,25V, 1250mAh e carregador externo, 110/220 Vol 50/60 Hz
- **Tempo de utilização da bateria:** 4 horas no modo simulação de 20mA (loop passivo) e até 12 horas no modo leitura.
- **Tempo de recarga da bateria :** 12 horas com o instrumento desligado (90% da carga)
- **Tensão da bateria:** Valor indicado no display
- **Número da versão de software:** Valor indicado no display
- **Faixa de temperatura para operação do instrumento:** de -10°C a 50°C
- **Faixa de temp. para armazenamento do instrumento:** de -30°C a 60°C
- **Caixa:** ABS, com pintura metálica interna.
- **Dimensões:** 120 x 60 x 230 mm
- **Peso:** Líquido 1Kg, embalado 2,5kg
- **Calibração:** Fornecido com Certificado de Calibração com selo RBC / INMETRO, emitido pelo Laboratório de Calibração ECIL (Credenciamento nº26 para temperatura e nº 111 para eletricidade)