

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDO DOS
EFEITOS TERMOELÉTRICOS APLICADOS NA ENGENHARIA

Cleber Lourenço Izidoro

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre
2015

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDO DOS
EFEITOS TERMOELÉTRICOS APLICADOS NA ENGENHARIA

Cleber Lourenço Izidoro
Especialista em Automação Industrial

Trabalho realizado no Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Porto Alegre

2015

I

CLEBER LOURENÇO IZIDORO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDO DOS
EFEITOS TERMOELÉTRICOS APLICADOS NA ENGENHARIA**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Processos de Fabricação, e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais.

Prof. Dr. Ing. Lírio Schaeffer
Orientador

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
Coordenador do PPGE3M

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Eng. Oswaldo Hideo Ando Jr. – UNILA _____

Dr. Eng. Moisés de Mattos Dias – FEEVALE _____

Dr. Eng. Alexandre Polozine – UFRGS _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter dado saúde para encarar e ultrapassar todos os desafios encontrados ao longo do caminho.

Aos meus familiares, em especial para minha esposa Gabriela e minha filha Alice, pelo companheirismo e auxílio em todas as horas.

Aos meus amigos Dr. Oswaldo Hideo Ando Júnior, Me. João Mota Neto, Me. Anderson Spacek, Eng. Everlise Maestrelli e Me. Richard Castro pelo auxílio em testes e revisões.

Ao Prof. Dr. Lirio Schaeffer pelo incentivo e sua capacidade em dar sugestões à realização do trabalho e a todos os professores do PPGE3M que nos passaram seus conhecimentos.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa e Relevância.....	17
1.2 Visão geral do trabalho	19
1.3 Contribuições do projeto.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 O Efeito Seebeck	22
2.2 O Efeito Peltier	24
2.3 O Efeito Thomson.....	25
2.4 Efeito Seebeck e Peltier Spin.....	26
2.5 Módulos Termoelétricos	27
2.6 Histórico dos Materiais Termoelétricos.....	29
2.7 Transdutores.....	31
2.7.1 Detector de temperatura resistivo (RTD)	31
2.7.2 Termopares	32
2.8 Aplicações da Termoeletricidade na Indústria Aeronáutica	34
2.8.1 Aplicações da Termoeletricidade na Indústria Automobilística.....	35
2.8.2 Aplicações da Termoeletricidade nas Indústrias	36
2.8.3 Aplicações em instalações residenciais	37
2.9 Bancadas para Ensaio de Módulos Termoelétricos.....	38
2.9.1 Bancada para estudo didático de módulos termoelétricos.....	38
2.9.2 Tecnologia termoelétrica: propriedades de micro geração elétrica.....	39
2.9.3 Plataforma de estudo para aplicações de controle inteligente e sistemas embarcados	40

2.9.4	Sistema de Supervisão e Controle de Aquisição de Dados de Geradores Termoeletrônicos	40
2.9.5	Método de aquisição de dados para levantamento de curva carga de módulos termoeletrônicos	41
2.9.6	Estudo experimental em módulos termoeletrônicos para geração de energia em várias condições de operação	43
2.9.7	Sistema de aquisição de dados <i>Wi-Fi</i> para monitoramento em tempo real de módulos termoeletrônicos	44
2.10	Elementos de Desenvolvimento da Bancada Didática	44
2.10.1	Sistemas Embarcados	44
2.10.2	O Microcontrolador	45
2.10.2.1	Estrutura Interna de um Microcontrolador	45
2.10.2.2	Periféricos Externos	46
2.10.2.3	Microncontroladores PIC (<i>Peripheral Interface Controller</i>)	48
2.10.2.4	A programação do microcontrolador	49
2.11	Condicionador de sinal para corrente ACS712.....	50
2.12	Condicionador de sinal para termopar	51
3.	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DA BANCADA DIDÁTICA	54
3.1	Sistema de Aquisição de dados.....	55
3.1.1	Circuito eletrônico de leitura e condicionamento dos sinais de temperatura	56
3.1.1.1	Sensores de temperatura	58
3.1.1.2	Programa do microcontrolador para aquisição de temperatura	58
3.1.2	Placa de aquisição de sinais elétricos	60
3.1.2.1	Circuito de leitura e condicionamento dos sinais de tensão elétrica.....	60
3.1.2.2	Circuito eletrônico de leitura e condicionamento dos sinais de corrente elétrica	61
3.1.2.3	Programa do microcontrolador da placa de aquisição tensão e corrente elétrica	62
3.1.3	Controle de potência dos elementos de aquecimento e resfriamento	65
3.2	Software de Totalização dos dados.....	66
3.2.1	Tela Principal do Programa de Aquisição de Dados	67
3.2.2	Menu de inicialização do Programa de Aquisição de Dados	68

3.2.3	Menu de configuração do programa de aquisição de dados	69
3.2.4	Fluxograma de funcionamento	70
3.3	Finalização do Projeto Eletrônico da Bancada	71
3.4	Condicionamento de sinais	73
3.5	Validação e condicionamento dos sinais do sistema de aquisição	74
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	78
4.1	Comparativo do Desempenho com Outras Tecnologias de Bancadas	81
4.2	Experimentos práticos aplicados ao ensino em ciência e tecnologia.....	82
4.3	Experimento para Caracterização de TEG.....	85
4.4	Custos para Construção da Bancada Didática	87
5.	CONCLUSÃO.....	89
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICES	96
	APÊNDICE A – Questionário aplicado aos acadêmicos	97
	APÊNDICE B – Atividade Prática Aplicada	99
	APÊNDICE C – Programa do microcontrolador para leitura de temperatura	102
	APÊNDICE D – Programa do microcontrolador para leitura de tensão e corrente elétrica ..	106
	APÊNDICE E – Programa de aquisição de dados visual desenvolvido em linguagem Delphi	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Trabalhos relacionados do PPGE3M com o estudo da termoeletricidade.....	21
Figura 2 - Primeiro teste efetuado por Seebeck [26].....	22
Figura 3- Princípio da geração termoelétrica [26].....	23
Figura 4 - O efeito Peltier [27]	24
Figura 5 - O Efeito Thomson.....	25
Figura 6 - Representação do Efeito de Seebeck Spin [32]	26
Figura 7 - Representação do Efeito de Peltier Spin [34]	27
Figura 8 - Formação do módulo termoelétrico [26]	28
Figura 9 - Módulo Termoelétrico Comercial [25].....	28
Figura 10 - Modelo de um RTD [39]	32
Figura 11 -Relação Resistência [Ω] versus Temperatura [$^{\circ}\text{C}$] de um Detector de Temperatura Resistivo [39].....	32
Figura 12 - Método de medição do termopar	33
Figura 13 - RTG utilizado na sonda espacial Voyager [46]	34
Figura 14 - Aplicação do módulo termoelétrico[48]	35
Figura 15 - Aplicação de TEG em Veículo GM Suburban [49].....	36
Figura 16 - Processo de Reaproveitamento de Calor para Geração de Energia em Lavagem de Escória [50].....	37
Figura 17 - Aplicação na área residencial [51].....	37
Figura 18 - Banca de estudo para materiais termoelétricos [52]	38
Figura 19 - Esquemática do sistema de aquisição da bancada [53].....	39
Figura 20 - Bancada de controle embarcado [54].....	40
Figura 21 - Diagrama do sistema de aquisição e controle [55]	41
Figura 22 - Estrutura da bancada de testes [56].....	42

Figura 23 - Curvas de potências versus corrente de saída (A) e Potência versus tensão de saída (B) conforme a variação de temperatura [56].....	42
Figura 24 - Esquemática da bancada de testes (A). Experimento realizado (B) [57].....	43
Figura 25 - Curva de temperatura da fonte quente [Th], temperatura da fonte fria [Tc] e gradiente de temperatura [ΔT] versus o tempo em minutos [57].....	43
Figura 26 - Interface de monitoramento sem fio para monitoramento de geradores termoeletricos [58].....	44
Figura 27 - Estrutura interna de um microcontrolador [52]	46
Figura 28 - Reset do microcontrolador.....	47
Figura 29 - Circuito oscilador.....	47
Figura 30 - O Microcontrolador PIC16F877A [64]	48
Figura 31 - Circuito Integrado ACS712 e Tensão de Saída Versus Corrente Mensurada [65]	50
Figura 32 - Conexão do MAX31855 ao Microcontrolador [57]	52
Figura 33 - Forma com que os dados são enviados[57]	53
Figura 34 - Método de instalação da bancada	54
Figura 35 - Visão geral do sistema	56
Figura 36 - Placas para aquisição de temperatura	57
Figura 37 - Estrutura de ligação da placa de leitura de temperatura	57
Figura 38 - Placa modular de aquisição de temperatura.....	58
Figura 39 - Varredura do programa de leitura de temperatura	59
Figura 40 - Programa do microcontrolador desenvolvido em linguagem C para a leitura de temperatura	59
Figura 41 - Placas de aquisição de tensão e corrente elétrica.....	60
Figura 42 - Circuito e placa para leitura e condicionamento de tensão elétrica.....	61
Figura 43 - Aquisição de corrente elétrica.....	61

Figura 44 - Varredura do sistema de aquisição escrita de dados.....	62
Figura 45 - Programa do microcontrolador utilizado para efetuar o conversão e aquisição de tensão e corrente	64
Figura 46 - Layout e placa de circuito impresso do módulo de potência.....	65
Figura 47 – Circuito do controle de potência CA.....	65
Figura 48 – Circuito do controle de potência CC.....	66
Figura 49 - Ambiente de desenvolvimento gráfico do Borland Delphi 7	67
Figura 50 - Tela principal de aquisição	68
Figura 51 - Tela de novo arquivo	68
Figura 52 - Tela de configuração de escala e canal.....	69
Figura 53 - Fluxograma de funcionamento do software de aquisição.....	70
Figura 54 - Primeira versão da bancada	71
Figura 55 - Nova estrutura mecânica.....	72
Figura 56 - Nova estrutura mecânica.....	72
Figura 57 - Pontos retirados de um gráfico [68].....	73
Figura 58 - Gráfico de temperatura [°C] versus Amostras, sem condicionamento de sinal....	74
Figura 59 - Curva de temperatura[°C] x Amostras[-], com condicionamento de sinal	75
Figura 60 - Curva de tensão [V] versus Amostras sem condicionamento.....	76
Figura 61 - Curva de tensão[V] versus Amostras com condicionamento	76
Figura 62 - Curva de corrente [A] versus Amostras sem condicionamento.....	77
Figura 63 - Curva de corrente [A] versus Amostras com condicionamento	77
Figura 64 - Diagrama em blocos do teste de bancada realizado	78
Figura 65 - Estrutura do teste	79
Figura 66 - Ensaio de bancada para temperatura $T_q[°C]$ x $T_f[°C]$ x $\Delta T[°C]$ x Amostras [-] ...	79
Figura 67 - Ensaio de bancada para tensão. Tensão[V] versus o número de Aquisições [-] ...	80

Figura 68 - Ensaio de bancada para corrente. Corrente[A] versus o número de Aquisições [-]	80
Figura 69 - Ensaio de bancada para potência. Potência [W] x o número de Aquisições [-]	81
Figura 70 - Respostas em relação ao primeiro questionamento	83
Figura 71 - Resposta em relação ao segundo questionamento	83
Figura 72 - Resposta em relação ao terceiro questionamento	84
Figura 73 - Resposta em relação ao quarto questionamento	84
Figura 74 - Resposta em relação ao quinto questionamento	85
Figura 75 - Relação entre gradientes de temperatura [°C] x tensão de saída [V] para circuito aberto	86
Figura 76 - Ensaio sob carga da potência de saída [W] pela tensão de saída em [V] para diversas condições de gradiente de temperatura [°C]	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de erro do termopar (quando aplicado com junta fria a 0°C) [45]	34
Tabela 2 - Características técnicas do microcontrolador PIC16F877A [64].....	49
Tabela 3 - Mapa de bits enviados [66]	51
Tabela 4 - Valores de temperatura e sinal binário [66]	52
Tabela 5 - Exemplo de envio de temperatura	70
Tabela 6 - Custo dos equipamentos	87
Tabela 7 - Especificação do equipamento	88

LISTA DE ABREVIATURAS

CPU	Unidade Central de Processamento (<i>Central Process Unit</i>)
GND	Referência de Terra (<i>Ground</i>)
LED	Diodo Emissor de Luz (<i>Light Emitter Diode</i>)
MADC	Módulo de conversão de dados e controle
MCLR	Reinício Geral (<i>Master Clear</i>)
NASA	Administração Nacional do Espaço e Aeronáutica (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
PC	Computador pessoal (<i>Personal Computer</i>)
PIC	Interface controladora de periféricos (<i>Peripheral Interface Controller</i>)
PWM	Modulação por largura de pulso (<i>Pulse Width Modulation</i>)
RC	Resistor e Capacitor
RISC	Computador com <i>set</i> de instruções reduzido (<i>Reduced Instruction Set Computer</i>)
RTD	Detector Resistivo de Temperatura (<i>Resistance Temperature Detector</i>)
RTG	Gerador Termoelétrico Radioisótopo (<i>Radioisotope Thermoelectric Generator</i>)
SMD	Dispositivo montado em Superfície (<i>Superficial Mounting Device</i>)
TEG	Grupo de Materiais Termoelétricos (<i>Thermoelectric Generator</i>)
USB	Barramento Serial Universal (<i>Universal Serial Bus</i>)
VCC	Tensão Contínua Positiva
VCA	Tensão Alternada

LISTA DE SÍMBOLOS

G	[-]	Ganho do amplificador operacional
I	[A]	Corrente elétrica
I_{lida}	[A]	Corrente lida pela entrada
k	[W/(m·K)]	Condutividade Térmica
P	[W]	Potência elétrica
R	[Ω]	Resistência elétrica
S_{an}	[-]	Valor lido pelo canal analógico
T	[K]	Temperatura em Kelvin
T_{am}	[°C]	Temperatura amostrada
T_f	[°C]	Temperatura do Lado Frio
T_{med}	[°C]	Temperatura medida de amostra
T_q	[°C]	Temperatura do Lado Quente
V	[V]	Tensão elétrica
V_{am}	[V]	Tensão amostrada pelo microcontrolador
V_{an}	[V]	Tensão lida pela entrada
V_{lida}	[V]	Tensão lida pelo sistema de aquisição
V_{med}	[V]	Tensão medida de amostra
V_o	[V]	Tensão de saída
α	[mV/K]	Coefficiente de Seebeck
ΔT	[°C]	Varição de Temperatura
ΔV	[V]	Varição de Tensão
π	[V]	Coefficiente Peltier

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada didática de baixo custo para estudo dos materiais termoelétricos para a realização de ensaios de obtenção de curvas de desempenho dos módulos termoelétricos no que se refere a geração de energia pelo Efeito Seebeck e resfriamento através do Efeito Peltier de forma a difundir os conhecimentos nas áreas afim em escolas de Engenharia, refletindo na compreensão dos princípios e funcionalidades destas tecnologias. O sistema proposto permite ler simultaneamente até 3 geradores termoelétricos, e é composto por dois principais circuitos eletrônicos: sendo um estágio aquisição de dados compostos por 3 canais para leitura de tensão, 3 canais para corrente e 6 canais para aquisição do sinal dos termopares (<400°C) além de sistema térmico que terá as funções de aquecimento e resfriamento. Os dados medidos são adquiridos para um computador com um *software* customizado a aplicação que permite o monitoramento das grandezas envolvidas (tensão, corrente, potência e temperatura) para acompanhamento do ensaio dos materiais termoelétricos, tanto por meio de uma indicação numérica como gráfica. O sistema de aquisição de dados possui precisão para temperatura de $\pm 2,5\%$, para tensão de $\pm 2,5\%$ e para corrente de $\pm 1,5\%$.

Palavras Chaves – Bancada didática, termoeletricidade, efeito Peltier, efeito Seebeck, ensino-aprendizagem.

ABSTRACT

The present work describes the development of a low cost didactic bench for Study of thermoelectric materials for performing obtaining performance curves testing of thermoelectric modules in regard to energy generation effect Seebeck and cooling via Peltier Effect order to disseminate knowledge in areas related to engineering schools, reflecting the understanding of the principles and features of these technologies. The proposed system can be read simultaneously up to 3 thermoelectric generators, and consists of two main electronic circuits: being a stage data acquisition composed of 3 channels for reading voltage and 3 channels for current using ACS712 instrumentation amplifiers and 6 channels signal acquisition thermocouples ($<400\text{ }^{\circ}\text{C}$) as well as thermal system will have the heating and cooling functions. The measured data is acquired to a computer with software developed in Delphi language, which allows monitoring of the quantities involved (voltage, current, power and temperature) to monitor the testing of thermoelectric materials, either through a digital display as a graphic . The data acquisition system has a temperature accuracy to $\pm 2,5\%$ to $\pm 2.5\%$ voltage and current of $\pm 1.5\%$.

Key Words - didactic bench, thermoelectricity, Peltier effect, Seebeck effect, teaching and learning.

1. INTRODUÇÃO

O uso de fontes de energia e de tecnologias modernas gerou mudanças qualitativas na vida humana proporcionando não só o aumento da produtividade econômica como o bem-estar da população [1]. Estima-se que até 2035 o consumo de energia aumente em torno de 40%, o que remete à procura de novas tecnologias para geração [2,3].

A procura por novas alternativas de geração de energia inicia-se na década de 70 com os choques petrolíferos. Em 1973, por motivações políticas, com o embargo da OPEP (Organização dos Países Produtores de Petróleo) aos Estados Unidos por apoiarem Israel na Guerra de Yom Kippur, forçou o aumento dos barris de petróleo em 400%. Com isto, houve necessidade de busca e novas condições para geração de energia, para assegurar a garantia de fornecimento de energia e a proteção do meio ambiente, diminuindo principalmente o aquecimento global, que é grande parte gerada da queima destes combustíveis [4].

Estudos apontam que a matriz energética mundial, até 2030 será composta por cerca de 35% vinda do petróleo, 22% do carvão mineral e 25% do gás natural. Já energias ditas renováveis (hidráulica, biomassa, solar, geotérmica, dentre outras) corresponderão a apenas 18%, sendo que atualmente não ultrapassam 12,7% da geração [5].

Com o aumento da demanda de energia elétrica, haverá a necessidade de buscar novas alternativas para o incremento da oferta de energia, dentre estas novas fontes para geração de energia está a utilização de materiais termoelétricos.

Os Geradores Termoelétricos (TEGs) são dispositivos de estado sólido capazes de transformar energia térmica em energia elétrica de forma direta (através do Efeito Seebeck), bastando para isso haver um gradiente de temperatura para gerar energia elétrica tendo uma eficiência energética, em torno de 5% a 15%, para os materiais mais modernos [5,6].

Considerando que a energia utilizada será residual (*energy harvesting*), este é considerado um bom rendimento, e, no futuro há estimativas que o rendimento poderá chegar a 21% [7,8].

Possuem diversas vantagens, como: Sem partes móveis; Alta confiabilidade; Baixa manutenção; Versatilidade de locais para sua aplicação; A conversão é feita diretamente em eletricidade; Pode ser aplicado a locais remotos; São leves e pequenos. É extremamente silencioso; É altamente seguro [9,10,11].

Além das aplicações de geração de energia, os materiais termoelétricos podem também gerar aquecimento ou resfriamento a partir de uma corrente contínua (através do efeito Peltier). São aplicados em maior escala em sistemas de refrigeração, pois desenvolvem rapidamente o resfriamento do ambiente em que são utilizados. Dentre as principais aplicações para resfriamento pode-se citar: Refrigeração de alimentos e bebidas, Ar condicionado em *cockpit* de pequenas aeronaves, Resfriamento de componentes eletrônicos e geração de potência para pequenos componentes eletrônicos embarcados[6,12].

Neste contexto o presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma bancada didática para análise e obtenção de curvas de desempenho dos módulos termoelétricos de forma a efetuar sua caracterização a partir de vários gradientes de temperatura para que sejam aplicadas em escolas de Engenharias.

Para este fim, desenvolveu-se um sistema completo de aquisição de dados, com circuitos eletrônicos microprocessados para captação e condicionamento dos sinais, controle de temperatura da fonte quente e fonte fria, programa de computador dedicado a aplicação com monitoramento através de gráficos, armazenamento dos dados em disco rígido, permitindo assim a leitura de sinais de temperatura, tensão, corrente e potência elétrica geradas pelos materiais termoelétricos.

Com a aplicação deste sistema possível a realização de testes para levantamento de curvas elétricas e térmicas, gerando assim a caracterização dos módulos para estudos comparativos de eficiência.

Deste modo o estudante de engenharia ou qualquer outra área de conhecimento a fim poderá conhecer o comportamento dos materiais termoelétricos de forma visual através de um sistema integrado entre *hardware* e *software*, e, assim difundir o conhecimento destes tipos de materiais o que poderá gerar no futuro novas aplicações.

1.1 Justificativa e Relevância

A complexidade do contexto atual dos processos de ensino aprendizagem atribui-se ao fato da transição entre a educação tradicional, onde o professor é chave mestre do conhecimento, e a educação corporativa, onde os estudantes são envolvidos na construção do conhecimento de forma interativa.

Tal interatividade pode ocorrer por meio da prática de projetos, este tema não é algo novo nas discussões referentes a educação, os autores descritos em [13] e [14] trataram sobre o

“saber fazer”, que pode ser entendido como uma filosofia, ou mesmo uma teoria, onde os alunos devem solucionar problemas didáticos com aproximação da realidade profissional.

Esta aproximação da realidade pode advir por meio da contextualização, parte crucial para uma educação com qualidade, já que, não é possível assimilar assuntos e conteúdos de modo isolado, assim todo conhecimento faz parte de um contexto, e para sua compreensão é necessário a interdisciplinaridade entre diversas áreas do saber [15].

Projeto consiste em um método onde os estudantes podem adquirir responsabilidades e autonomia, e ainda, praticar a socialização com grupos de trabalho [16].

A aprendizagem por prática de projetos é uma metodologia educacional que permite aos alunos compreender como relacionar teoria à prática. Este tipo de metodologia aplicada no processo de ensino aprendizagem fazem os alunos a refletir sobre as atividades propostas, transformando-se em seres críticos, como autonomia na sua própria aprendizagem [17].

Porém, existem outros meios de promover uma educação corporativa, com interação, que é a inserção da tecnologia na educação. Atualmente as tecnologias estão presentes em todos os segmentos que compõem a rotina do homem moderno, não podendo ser diferente nos processos de ensino-aprendizagem.

A aplicação de tecnologia no processo ensino-aprendizagem é tão antiga quanto a própria história do computador, praticamente choca com o início de sua utilização. Se formos fazer um breve histórico na utilização da tecnologia computacional aplicada a educação remeterá a década de 50, quando os primeiros computadores capazes de armazenar informação começaram a ser comercializados [18].

No Brasil isto se deu um pouco mais tarde, já que até o final da década de 80 toda tecnologia devia ser desenvolvida no próprio país, devido às barreiras impostas por nosso Governo em relação a utilização de tecnologias importadas. As primeiras universidades a utilizar recursos computacionais foram: UFRJ (1966), UNICAMP e UFRGS (1973). Mas o grande salto se deu em 1981, quando criou-se um documento caracterizando uma política nacional de desenvolvimento do software na educação [19].

Em dezembro de 1981, foi divulgado o documento "Subsídios para a Implantação do Programa Nacional de Informática na Educação", que apresentou o primeiro modelo de funcionamento de um futuro sistema de informática na educação brasileira elaborado pela equipe Inter setorial. Esse documento recomendava que as iniciativas nacionais deveriam estar centradas nas universidades e não diretamente nas secretarias de educação, pois era necessário construir conhecimentos técnico-científicos para depois discuti-los com a comunidade

nacional. Buscava-se a criação de centros formadores de recursos humanos qualificados, capazes de superar os desafios presentes e futuros então vislumbrados [19].

Sendo assim, as escolas brasileiras iniciaram a inclusão de computadores como ferramentas de ensino. As tecnologias computacionais começaram a fazer parte do cotidiano de nossas escolas, os alunos e os professores foram se adaptando e evoluindo com os sistemas de informática e software.

Os diversos métodos da construção do conhecimento, existem devido a evolução da comunicação, da oralidade à informática, desta forma, os objetos digitais de mídias e tecnologias serão partes do ser humano [20].

Objetos digitais fazem parte do mundo educacional, e possibilitam a intensificação de resultados positivos do processo de ensino e aprendizagem, com evolução de padrões educacionais e com possíveis atividades pedagógicas inovadoras [21].

O impacto dos avanços tecnológicos é visível no mundo educacional, tornando possível realizar na educação atividades com mais rapidez, mais precisão e menos custo.

Os resultados efetivos da propagação do conhecimento e simulação de ganhos de energia elétrica com materiais termoelétricos, talvez não sejam visualizados de forma imediata, mas em um futuro próximo. Além da visualização por parte dos acadêmicos em relação as características técnicas da simulação em geral, o estímulo da aplicação de materiais termoelétricos na geração de energia elétrica é o ponto chave para o desenvolvimento de novas pesquisas.

Por ser uma ferramenta didática poderá ser replicada e utilizada em escolas de engenharia, ensino técnico ou ensino médio, pois contempla muitas áreas de estudo da física, como a termodinâmica e eletricidade, de forma a difundir ainda mais a tecnologia pois permite a visualização dinâmica das grandezas envolvidas no processo de termogeração, aliando, desta forma, a teoria à prática do ensino.

1.2 Visão geral do trabalho

A presente dissertação de mestrado esta subdividida em cinco capítulos. Onde, no primeiro capítulo serão abordados temas teóricos relevantes à pesquisa para o desenvolvimento da bancada.

No segundo capítulo será formatada a fundamentação teórica abordando assuntos como a termoeletricidade (histórico e aplicações), funcionamento dos módulos termoeletricos e elementos eletrônicos utilizados na instrumentação e controle da bancada. Além do estado da arte, elencando algumas outras formas de aquisição de sinais e bancadas para aquisição de sinais de materiais termoeletricos.

O terceiro capítulo mostrada como foram realizados os procedimentos experimentais, ou seja, os meios para se chegar ao protótipo da bancada construído.

O quarto capítulo mostra os resultados do experimento, elencando os dados produzidos com a utilização da bancada, além da avaliação dos acadêmicos em sua utilização.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões do projeto com a análise dos objetivos.

O sexto capítulo demonstra as possibilidades de trabalhos futuros.

1.3 Contribuições do projeto

Este projeto visa contribuir de forma a facilitar a obtenção dos dados e levantamento de curvas provenientes de uma microgeração termoeletrica ou de resfriamento através de pares de materiais termoeletricos no processo de ensino/aprendizagem na engenharia.

Como resultado do trabalho foi desenvolvido um equipamento eletrônico alocado há um microcomputador, e, através de associações elétricas e térmicas, foi possível adquirir dados de desempenho tanto para módulos de geração termoeletrica, enriquecendo o conteúdo adquirido pelo acadêmico em disciplinas relacionadas a geração elétrica, trocas térmicas e desenvolvimento de novos materiais. Para validação do projeto foram desenvolvidos testes em laboratório, utilização em campo por acadêmicos e aplicação de questionário de avaliação para verificar se sua utilização foi válida.

Diante deste cenário, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- Estudar as aplicações para obtenção de energia através de materiais termoeletricos;
- Desenvolver um sistema de leitura de temperatura, tensão, corrente e potência elétricas;
- Desenvolver um programa de computador para visualização e totalização dos dados;
- Aplicar o protótipo em um sistema de cogeração para análise de dados com acadêmicos de cursos de engenharia;

- Verificar a funcionalidade da bancada através de questionário aplicado aos acadêmicos.

A figura 1 mostra algumas outras contribuições de dissertações e teses presentes neste programa de pós-graduação que tem ligação a este utilizando materiais termoelétricos.

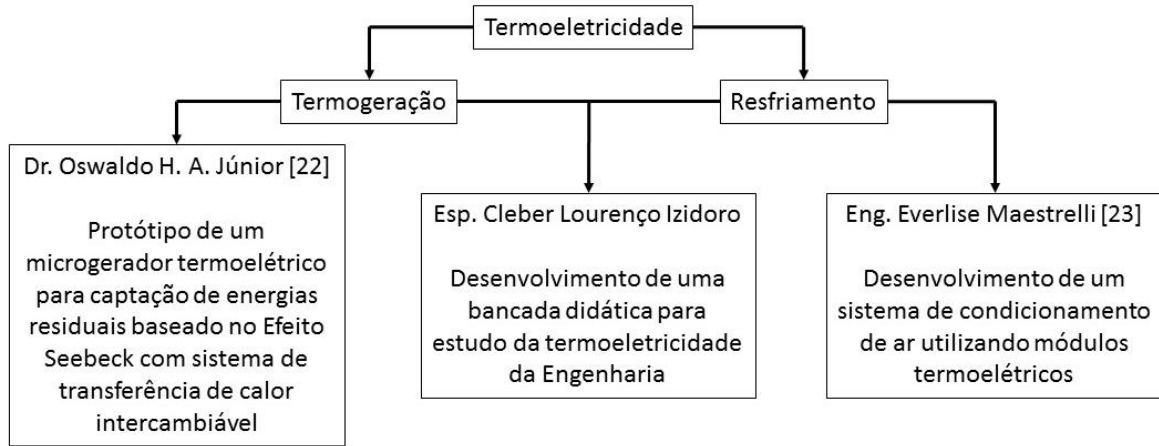


Figura 1- Trabalhos relacionados do PPGE3M com o estudo da termoeletricidade

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos e fundamentos acerca do projeto. Inicialmente serão abordados conceitos físicos dos materiais termoelétricos além funções e aplicações. Outros temas relacionados a circuitos eletrônicos e componentes utilizados para o desenvolvimento da bancada também serão abordados ao longo do capítulo.

2.1 O Efeito Seebeck

Na história da ciência o físico e químico Dr. Thomas Johann Seebeck (1770 – 1831), é o precursor da descoberta dos fenômenos termoelétricos. Os relatos de seus primeiros experimentos tratam de uma bússola termomagnética, composta por dois materiais metálicos diferentes, que quando expostos a uma diferença de temperatura se movimentavam[24].

A figura 2 demonstra o protótipo de Seebeck, nele foi desenvolvida uma estrutura baseada em dois tipos diferentes de materiais, o Bismuto na base e um anel de Cobre, no meio do arco foi introduzida uma agulha magnética[25].

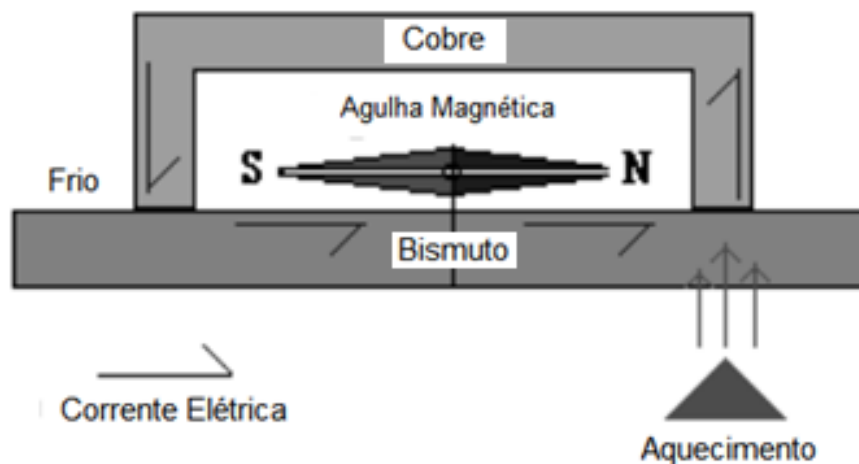


Figura 2 - Primeiro teste efetuado por Seebeck [26]

Em uma das extremidades do bismuto houve aquecimento, e no outro resfriamento, o que produziu uma corrente elétrica através do material, através da diferença de temperatura, ocorreu a circulação de corrente elétrica, o que fez com que a agulha magnética se movimentasse devido ao campo eletromagnético gerado pela mesma, daí então se tem o engano de Seebeck, a variação deu-se pela corrente gerada e não pela energia térmica dependida[26].

A este fenômeno Seebeck nomeou erroneamente de termomagnetismo, devido ao experimento efetuar a movimentação da bússola, que hoje na verdade, são tratados como efeitos termoelétricos [24].

Na verdade este fenômeno é ocasionado devido à diferença de temperatura entre as extremidades do material de forma que provoca um movimento de elétrons para a região com menor nível de energia ocasionado a concentração de íons positivos na região oposta. Este movimento gera uma diferença de potencial elétrico diretamente proporcional à temperatura, conforme demonstra a figura 3.

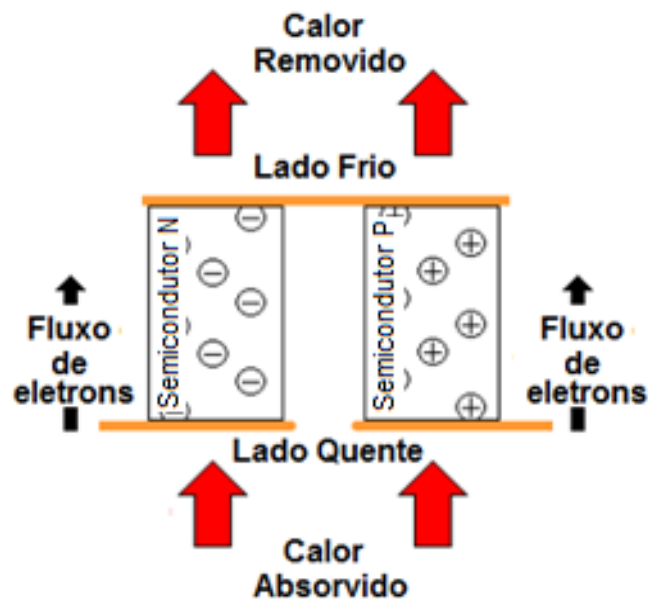


Figura 3- Princípio da geração termoelétrica [26]

O Coeficiente Seebeck (α) é tratado como a diferença de tensão de um material pela diferença de temperatura aplicada a estes materiais quando a temperatura é de 1 Kelvin (Eq. 1).

$$\Delta V = \alpha (T_1 - T_2) \quad \text{Eq. 1}$$

$$\alpha = \Delta V / \Delta T \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

- α é o coeficiente de Seebeck [V/K], como visto na equação 2, sendo a relação da tensão elétrica pela temperatura em Kelvin, ou seja, V/K; e
- T_1 e T_2 são as temperaturas do lado frio e do lado quente, respectivamente, em que o material está submetido em K [26] (Eq. 2).

Durante o desenvolvimento de sua pesquisa, Seebeck conseguiu cerca de 3% de eficiência, o que se comparava a um motor a vapor utilizado no mesmo período, ou seja, um grande avanço tecnológico[26].

A eficiência dos geradores termoelétricos baseados na teoria de Seebeck, é dada pela taxa de espalhamento e densidade dos elétrons de condução, ou definida pela relação entre a tensão gerada conforme o gradiente de temperatura estabelecido na aplicação do material[26].

2.2 O Efeito Peltier

Jean Charles-Athanase Peltier, 12 anos após a descoberta de Seebeck, observou que ao passar uma corrente por dois materiais condutores diferentes, estes mudavam seu valor de temperatura. Mesmo assim Peltier não conseguiu relacionar seus experimentos com os experimentos de Seebeck, somente em 1838, Lenz conseguiu associar os dois experimentos. A conclusão que Lenz chegou foi que dependendo da direção do fluxo de corrente, o calor é absorvido ou gerado na junção entre os dois condutores.

De acordo com a figura 4, quando uma corrente contínua é aplicada através dos materiais semicondutores ocasiona o aquecimento ou resfriamento do material, isto de acordo com o sentido da corrente. Quanto maior o fluxo de corrente percorrido através destes materiais maior será a troca de calor entre lado frio e lado quente [27].

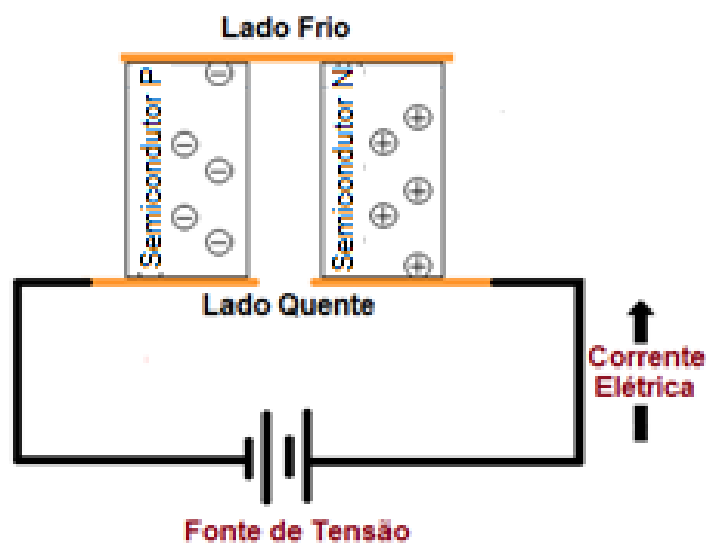


Figura 4 - O efeito Peltier [27]

O efeito Peltier tem relação direta com o conceito do efeito Seebeck [27], conforme demonstra a Eq. 3.

$$Q_c = \pi \cdot I \text{ [W]} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

- Q_c é o calor que a junção absorve;
- π [V] é o coeficiente *Peltier*; e
- I [A] é a corrente elétrica.

2.3 O Efeito Thomson

Em 1851, após Seebeck e Peltier realizarem seus experimentos através de materiais termoelétricos, Willian Thomson estabeleceu uma relação entre o coeficiente de Seebeck e Peltier que previa a existência de um terceiro efeito termoelétrico.

Este fenômeno relaciona o aquecimento ou resfriamento do material através de um único condutor quando uma corrente passa ao longo dele, sendo que este condutor é aplicado a uma diferença de temperatura [28].

O Efeito Thomson ainda pode apresentar aquecimento ou resfriamento dependendo da configuração aplicada, denominados de Efeito Thomson Positivo ou Efeito Thomson Negativo. Quando o terminal quente está conectado a um potencial elétrico maior que o lado frio, a corrente flui de um ponto de alto potencial elétrico para um de menor potencial elétrico, de forma que haverá aquecimento de material. Este fenômeno é denominado de efeito Thomson positivo.

Já em um processo inverso, onde o potencial elétrico maior está aplicado ao lado frio, a corrente elétrica flui de forma inversa, ou seja, haverá absorção de calor. Chamado de efeito Thomson negativo. A figura 5 mostra o efeito Thomson.

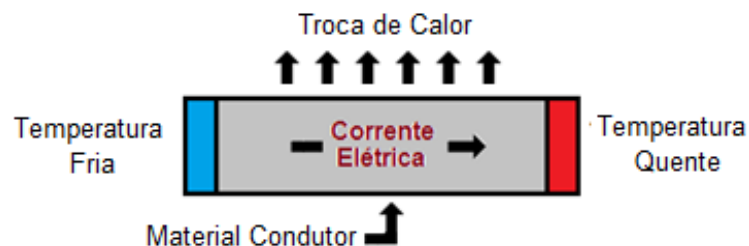


Figura 5 - O Efeito Thomson

O coeficiente de Thomson relaciona calor com corrente elétrica e a diferença de temperatura, e prova que os efeitos Seebeck e Peltier estão inter-relacionados associando corrente elétrica, calor e gradientes de temperatura, provando que os efeitos Seebeck e Peltier tem relação direta [29].

2.4 Efeito Seebeck e Peltier Spin

Um novo avanço na concepção dos materiais termoelétricos tem relação com o campo da spintrônica. Estudos recentes realizados datam o ano de 2008, que pautam a geração de diferenças de potencial nos *spins* dos elétrons, chamado de efeito de Seebeck Spin, e, este pode ser realizado em materiais condutores, semicondutores ou isolantes quando submetidos a gradientes de temperatura[30,31].

Quando um metal magnético é submetido a um gradiente de temperatura gera diferentes poderes de condução de elétrons em diferentes canais de rotação ao longo do gradiente de temperatura. No setor da rotação, um ímã funciona da mesma maneira como um termopar (Figura 6 a e b). Este poder de condução de elétrons gera diferentes quantidades de fluxo nos dois canais de rotação, isto é, uma corrente de spin [31,32].

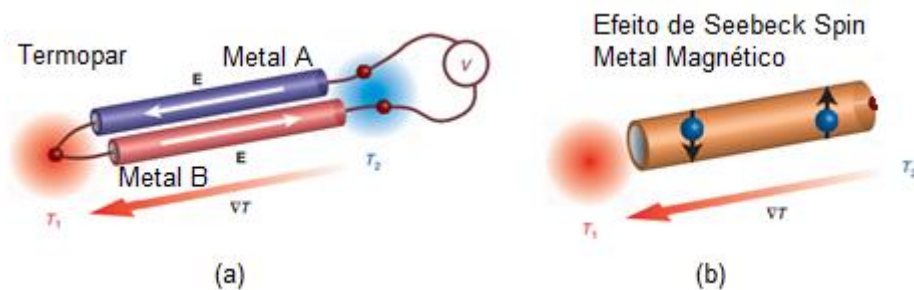


Figura 6 - Representação do Efeito de Seebeck Spin [32]

O estudo realizado mostra, através da medição por efeito Hall, que quando um material ferromagnético é submetido a um gradiente de temperatura gera tensão elétrica por spins dos elétrons, esta tensão induzida é observada também em pontos muito distantes das extremidades do material, e podem ser extraídas apenas ligando-se um metal ao próprio ímã [33].

Outros experimentos relatam o aparecimento do efeito chamado de Peltier Spin. Através da utilização do material isolador ferromagnético (ferro Granada de ítrio – YIG),

uma corrente de calor é gerada através da propagação da corrente de spin na superfície da platina e o YIG.

Ao analisar a figura 7, nota-se que a corrente de spin puro é enviada através de um metal não magnético (N) para um metal ferromagnético (F). Em N, a corrente de calor Peltier é igual. À medida que a direção do fluxo nos dois canais de rotação é oposto, a corrente total de calor, é cancelada. Em F, as correntes de calor são diferentes para portadores majoritários e minoritários, levando a uma corrente líquida de calor na interface em F ou vice-versa [34].

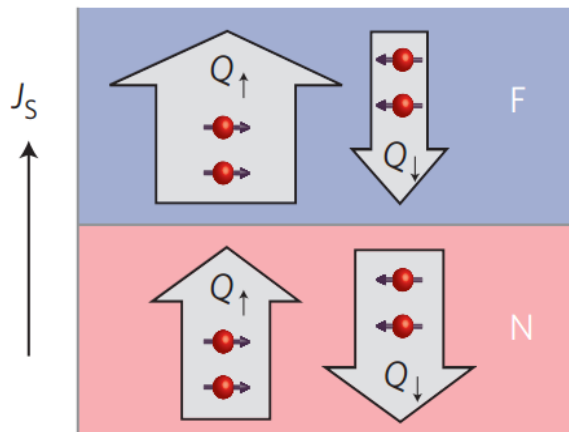


Figura 7 - Representação do Efeito de Peltier Spin [34]

2.5 Módulos Termoelétricos

Os módulos termoelétricos geralmente são formados por materiais semicondutores (tipo P e tipo N), e tem sua estrutura formada para o aumento da densidade de corrente e consequentemente potência de saída. São fabricados a partir de materiais como: telúrio, antimônio, germânio, bismuto e prata, dopados quimicamente, o que garante um alto fluxo de elétrons ao serem submetidos a um diferencial de temperatura. Estes por sua vez são interligados em série eletricamente, através de materiais condutores como o cobre, e em paralelo termicamente. Para garantir a transferência térmica do lado de maior temperatura para o de menor temperatura e a rigidez mecânica do módulo, a estrutura é complementada em suas superfícies com duas placas cerâmicas[26].

A figura 08 apresenta os termos elementos, citados como Tipo-P e Tipo-N, a interligação destes através de material condutor e o fluxo de temperatura do lado quente para o

lado frio, gerando um fluxo de elétrons, representado pelas setas, através da estrutura dos semicondutores e condutores, que por sua vez, geram uma tensão entre os terminais extremos.

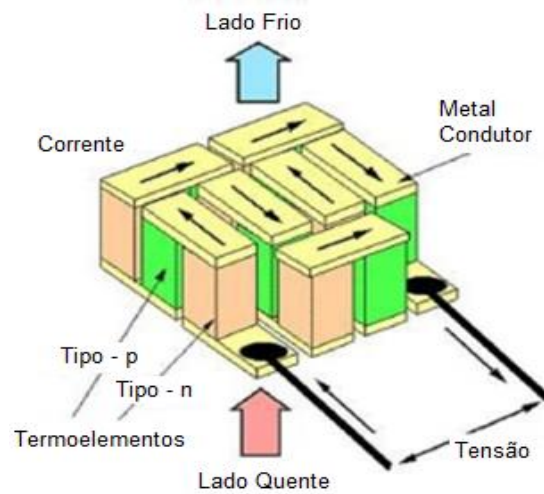


Figura 8 - Formação do módulo termoelétrico [26]

Na figura 08 percebe-se que ao submeter as faces do módulo a um gradiente de temperatura, os elétrons adquirem energia cinética e se deslocam a extremidade fria de cada um dos conjuntos P-N, concentrando um maior valor de carga neste local. A extremidade fria do material do tipo-P concentra cargas elétricas positivas, e a extremidade fria do material do tipo-N cargas elétricas negativas, ao se fechar o circuito entre estas duas extremidades um fluxo de corrente será criado, e, por consequência um diferencial de tensão elétrica.

Os módulos termoelétricos comerciais são fabricados para diferentes valores de diferença de temperatura, tamanho e potência, a figura 09 apresenta um dos modelos de módulo termoelétrica comercial[27].

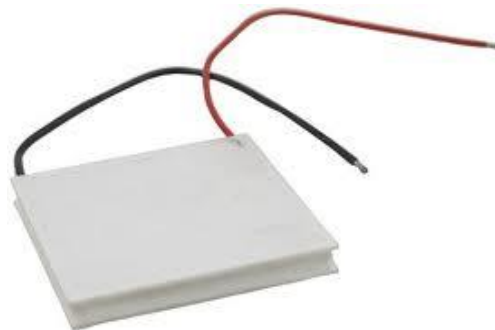


Figura 9 - Módulo Termoelétrico Comercial [25]

Dentre as vantagens dos materiais termoelétricos pode-se elencar a alta confiabilidade, baixa manutenção, versatilidade para aplicação, tamanho, leveza, além de ser silencioso e altamente seguro [25].

2.6 Histórico dos Materiais Termoelétricos

Desde os primeiros estudos dos efeitos Seebeck, Peltier e Thomson pesquisas na área dos materiais termoelétricos foram realizadas no século XIX outras pesquisas no mundo moderno foram e estão sendo realizadas, principalmente no âmbito do rendimento dos materiais para cogeração.

Quando Seebeck realizou suas pesquisas, em torno do ano de 1820, o rendimento gerado da conversão térmica em elétrica, gerou um rendimento em torno de 3%, para representava uma grande evolução, pois se comparava a geração de uma máquina a vapor, [26].

Após este período inicial, em cerca de 80 anos não houveram mais grandes evoluções com no rendimento destes materiais, até que em 1911 Altenkirch desmistificou a eficiência termoelétrica, mostrando que os bons materiais termoelétricos devem possuir grandes coeficientes de Seebeck com baixa condutividade térmica para reter o calor na junção e baixa resistência elétrica para minimizar o aquecimento Joule, a chamada figura de mérito [35,36].

Já nos anos 30, através do desenvolvimento de semicondutores sintéticos, os coeficientes de Seebeck chegaram a 100 μ V/K, com rendimentos de até 5% [26].

No início da década de 60 as exigências de fontes autônomas de energia elétrica surgiram a partir da exploração do espaço. Geradores termoelétricos são ideais para tais aplicações, onde a sua confiabilidade, ausência de partes móveis, e um funcionamento silencioso superam seu custo relativamente elevado e baixa eficiência (normalmente menos de 5%). Esta vantagem pode ser tomada em consideração a simplicidade e robustez de geradores termoelétricos em comparação com dispositivos de conversão termomecânica [24].

Pensava-se inclusive que para aplicações de resfriamento os módulos termoelétricos baseados no Efeito *Peltier* poderiam rapidamente substituir sistemas de refrigeração, mas a eficiência ainda fica muito aquém de um sistema de refrigeração convencional, em torno de 4 a 5 vezes menor [36,37].

Pesquisa em semicondutores compostos, para possível aplicação do transistor na década de 1950 resultou em novos materiais com propriedades melhoradas substancialmente termelétricas. Estimulado por possíveis aplicações militares uma grande pesquisa de materiais

foi empreendida, em particular nos laboratórios RCA em os EUA, o que resultou na descoberta de alguns semicondutores com figura de mérito aproximada a 1.5 [26,37].

A corrida espacial foi outro fator que contribuiu para o desenvolvimento da termoeletricidade, com aplicação em cogeração de energia, devido as características de alta resistência, vida média e boa relação custo benefício, foram utilizadas nas missões TRANSIT em 1963, NIMBUS em 1966, ALSEP em 1970, PIONEER em 1972, VIKING em 1974, VOYAGER em 1978, GALILEO em 1981 e ISO em 1982 [36]

Na década de 70, a obtenção de ligas de *Si-Ge* sinterizados e ligas policristalinas em publicações da época, mostram o desenvolvimento do *RTG* (Geradores Termoelétricos Radioisótopos), mas, estas ligas apresentaram um decréscimo na eficiência, em torno de 1% a 2%, mas devido a facilidade na obtenção do material, esta perda de rendimento é considerada aceitável [30].

O progresso desde 1960 na melhoria do rendimento foi muito lento até a década de 1990. O valor máximo da figura de mérito permaneceu essencialmente em torno de 1 e o financiamento para novas pesquisas nesta área diminuiu. A cenário para materiais termoelétricos mudou bastante na década de 1990 devido a vários novos desenvolvimentos conceituais e renovado interesse de várias agências de fomento à pesquisa dos Estados Unidos, principalmente com a utilização de materiais de terras raras e devido a busca de novas maneiras de gerar energia com pouco impacto ambiental [38].

Durante este período a figura de mérito chegou a cerca de 1,7, através da introdução de nanoestruturas; a eficiência de conversão de potência chegou a valores de até 15%. A geração conseguinte tem sido desenvolvida recentemente, alguns novos conceitos e novas tecnologias têm trazido uma figura de mérito em torno de 1.8 e até mesmo superior; com previsão de eficiência de conversão de 15% a 20% [28].

Pesquisas mais recentes sobre eficiência dos materiais termoelétricos descritas em [8], tornam obsoletos os conceitos referentes aos dados para cálculo de eficiência e a própria figura de mérito, pois não levam em consideração fatores relevantes na obtenção da eficiência destes módulos. O desenvolvimento desta nova metodologia de cálculo chamada de critério de utilidade de um material termoelétrico, o fator P, leva em consideração a durabilidade do par termoelétrico, o seu custo e o envelhecimento adimensional que expressa a diminuição da eficiência real do par termoelétrico no tempo de execução. Através deste método é possível determinar a eficiência destes pares para várias condições de operação [8].

Nos dias atuais existem diversos fabricantes já possuem produção de módulos em escala industrial para as mais diversas aplicações, potências e arranjos diferentes. Muitas pesquisas na área de cogeração de energia elétrica, ou seja, principalmente através do reaproveitamento o calor residual. A seguir apresentam-se alguns estudos sobre a utilização e aplicação dos materiais termoelétricos em diversas áreas.

2.7 Transdutores

Um transdutor é um dispositivo capaz de converter um tipo de energia para um outro geralmente utilizado como elemento sensor. Na medição de sinais de temperatura, alguns transdutores são utilizados, e estes fabricados a partir de materiais termoelétricos, dentre os mais comuns estão as termo resistências (RTD – *Resistive Temperature Detector*) e os termopares.

2.7.1 Detector de temperatura resistivo (RTD)

Os *RTD's* (*Resistance Temperature Detector* ou termo resistências), são elementos resistivos fabricados a partir de ligas de platina, níquel, ou liga de níquel-cobre, que ao serem submetidos a um valor de temperatura variam a resistência do material. Seu funcionamento baseia-se no princípio físico do coeficiente de temperatura da resistência elétrica dos materiais, ou seja, ao ser aplicada uma temperatura em sua face sensora, o mesmo varia a resistência elétrica, e esta variação pode ser captada através de equipamentos destinados a isto.

Para que a medição seja correta, é necessária a circulação de uma corrente através do sensor, ou seja, a partir de uma tensão conhecida, e sua resistência variando, é possível efetuar a medição da corrente, esta proporcional a temperatura.

A figura 10, mostra como é a estrutura de um RTD, o elemento sensor, que fica em sua face, pode ser constituído de filme metálico ou um fio calibrado, e estes, encapsulados através de um tubo de proteção. Os fabricados com filme metálico apresentem melhor resposta em relação a precisão e velocidade de resposta, pois sua espessura é muito menor, o que resulta em um aumento de resistência e inércia térmica menor [39].

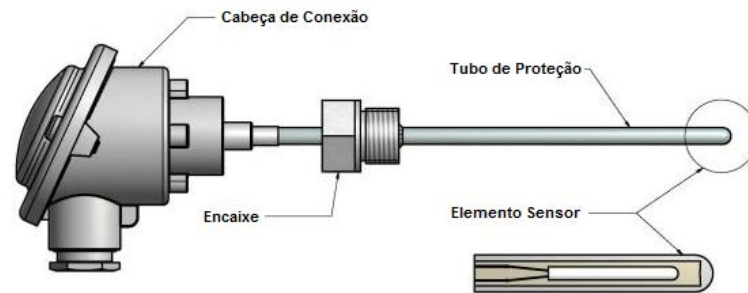


Figura 10 - Modelo de um RTD [39]

Dentre os modelos de *RTDs*, um dos mais conhecidos é o PT100, que tem como principal característica uma resistência nominal de 100 ohms a 0°C.

Comparados a outros elementos de medição de temperatura, apresentam maior linearidade, o que permite a medição de diferentes valores de temperatura.

A figura 11 mostra como a resposta de resistência em relação a temperatura de um *RTD*, observa-se uma faixa de variação de resistência praticamente linear a temperatura aplicada em seus terminais[39].

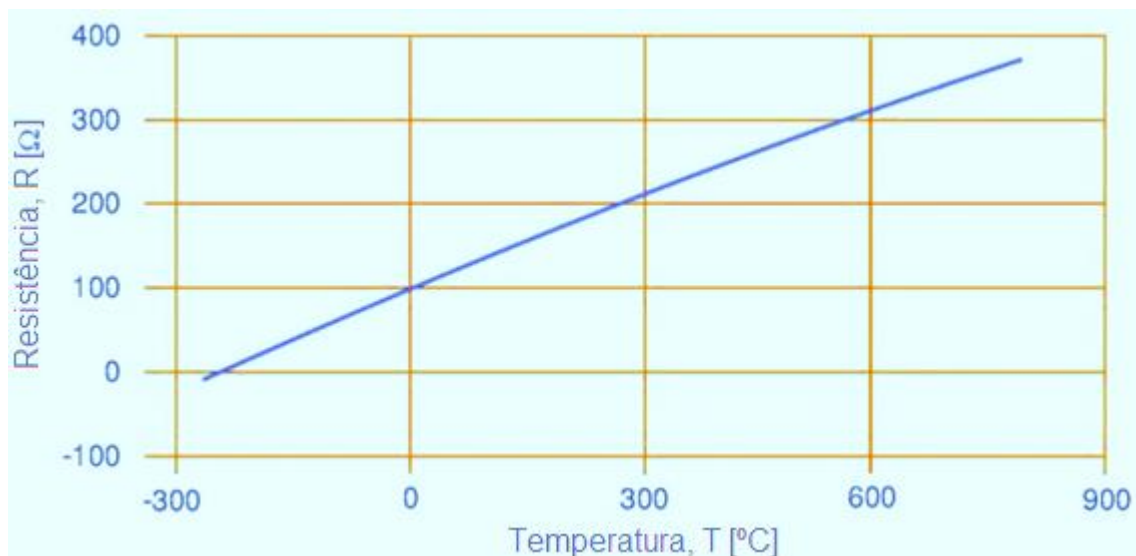


Figura 11 -Relação Resistência [Ω] versus Temperatura [°C] de um Detector de Temperatura Resistivo [39]

2.7.2 Termopares

O outro elemento de medição de temperatura que utilizado em larga escala na indústria são os termopares. Estes sensores de temperatura funcionam com base no efeito *Seebeck*, para

gerar, quando submetidos a certo valor de diferença de temperatura, um pequeno valor de tensão (geralmente uma tensão muito pequena na cada dos mili Volts), valor este proporcional à temperatura [40].

O termopar, que opera sob o efeito *Seebeck* é, portanto, diferente da maioria dos outros sensores de temperatura uma vez que sua saída não está diretamente relacionada à temperatura, mas sim ao gradiente de temperatura, ou seja, da diferença de temperatura ao longo do fio termopar. Assim sendo, é fundamental que os fios usados para fabricação do termopar sejam homogêneos em toda sua extensão do termopar, ou seja, tenham o mesmo coeficiente de *Seebeck* [40].

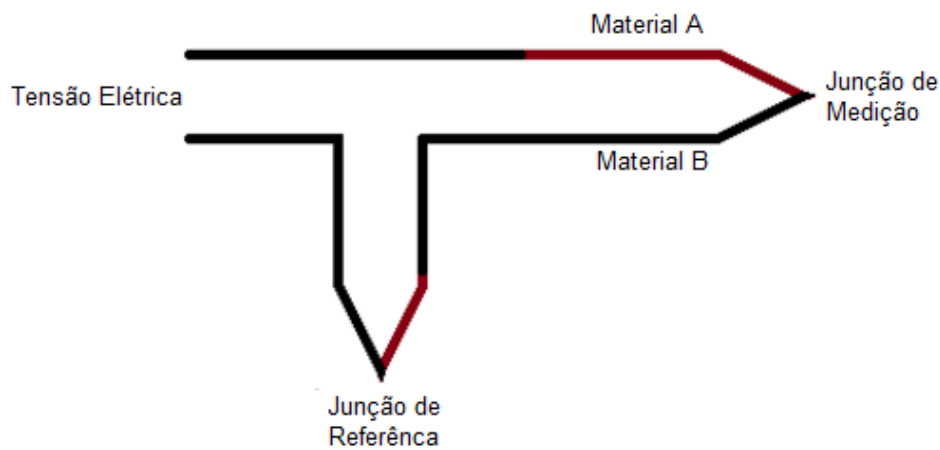


Figura 12 - Método de medição do termopar

De acordo com a figura 12, a junta de medição é inserida no ponto em que se deseja adquirir a temperatura, conforme a temperatura será gerada entre os pontos do material A e do material B uma diferença de potencial muito pequena, que pode ser medida através de um voltímetro. O valor de temperatura correspondente será então o valor medido pelos pontos A e B em relação à temperatura ambiente [42].

Um dos grandes problemas do termopar, é que não podemos fazer a medição direta de sua junta quente, devido a não linearidade do sinal e os valores de tensão gerados são muito pequenos, o que nos remete a utilização de circuitos eletrônicos de condicionamento e amplificação de sinais [43].

A Tabela 01 mostra quais são os valores máximos e mínimos de temperatura que os termopares podem ser aplicados, e o erro específico de cada um deles. Cada um dos modelos descritos na tabela é fabricado a partir de ligas metálicas específicas, o que garante faixas de medição diferentes e também erros diferentes para cada caso. A denominação destes valores é

determinada através de uma letra, por exemplo, o termopar tipo K, é fabricado a partir de fios de Chromel, como termo elemento positivo, e Alumel, como termo elemento negativo, suporta temperaturas entre -200°C a 1260°C , e apresenta uma sensibilidade de aproximadamente $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ [44].

Tabela 1 - Limites de erro do termopar (quando aplicado com junta fria a 0°C) [45]

Elemento Positivo	Elemento Negativo	Tipo	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Sensibilidade ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
Cobre	Constantan	T	-200 a 370	40,5
Chomel	Constantan	E	-200 a 900	67,9
Ferro	Alumel	J	0 a 760	52,6
Chromel	Nisil	K	-200 a 1250	38,8
Nicrosil	Platina	N	650 a 1260	34,8
Pt (13%Rh)	Platina	R	0 a 1450	12,0
Pt(10%Rh)	Platina	S	0 a 1450	10,6
Pt(30%Rh)	Pt (6%Rh)	B	0 a 1700	7,6
W(5%Rh)	W(26%Rh)	B	0 a 2320	16,6
W(3%Rh)	W(25%Rh)	B	0 a 2330	17,0

2.8 Aplicações da Termoeletricidade na Indústria Aeronáutica

Uma das primeiras aplicações de materiais termoelétricos foram na sonda espacial *Voyager I*, demonstrada na figura 13, desenvolvida pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). A alta complexidade de uma viagem espacial, onde os equipamentos envolvidos devem ser de alta confiabilidade, e os níveis de energia devem ser estáveis para garantir grande duração das baterias e o aquecimento da estrutura interna da espaçonave[46].

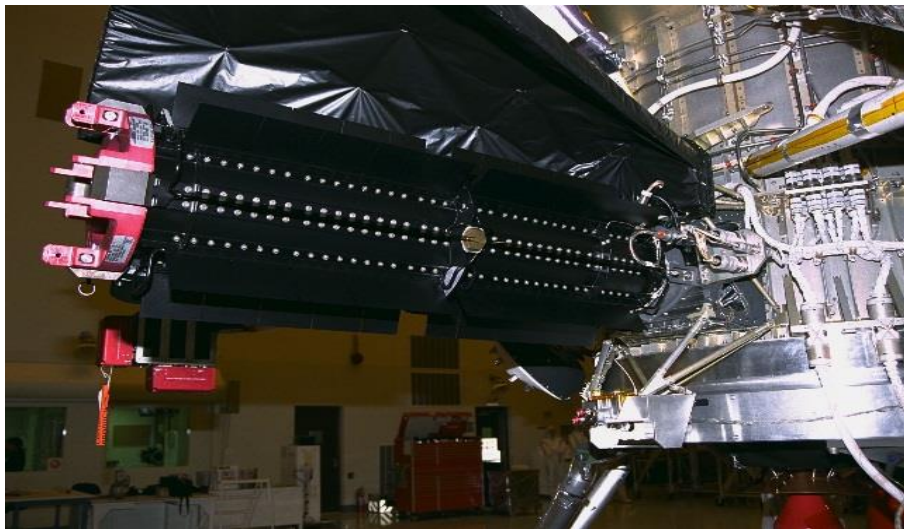


Figura 13 - RTG utilizado na sonda espacial Voyager [46]

Para isto, são utilizados os RTGs (*Radioisotope Thermoelectric Generator*), que nada mais são baterias nucleares que convertem calor em eletricidade através da reação de plutônio radioativo-238 para gerar aquecimento sobre o termopar e como no espaço as temperaturas são muito baixas, o próprio espaço exterior da sonda é utilizado para gerar o resfriamento [47].

Além de aplicações espaciais, na aviação comercial os módulos termoeétricos ou Peltier são utilizados na refrigeração, ar condicionado, resfriamento de componentes eletrônicos e geração de energia elétrica [47].

2.8.1 Aplicações da Termoeletricidade na Indústria Automobilística

Os materiais termoeétricos quando aplicados em automóveis tem como principal função aumentar a autonomia de combustível. A figura 14, mostra como podem ser aplicados os materiais termoeétricos como fonte energética e as temperaturas de cada ponto para manter-se o gradiente de temperatura.



Figura 14 - Aplicação do módulo termoeétrico[48]

O próprio vapor gerado pelo escapamento do automóvel é acondicionado em tubos para a passagem em um dos lados do módulo termoeétrico, bem como um líquido de arrefecimento para manter a diferença de temperatura estável e por consequência a geração de energia para suprir parte dos periféricos existentes em um veículo, como demonstrado na figura 15, aplicado em um veículo da empresa BMW [49].

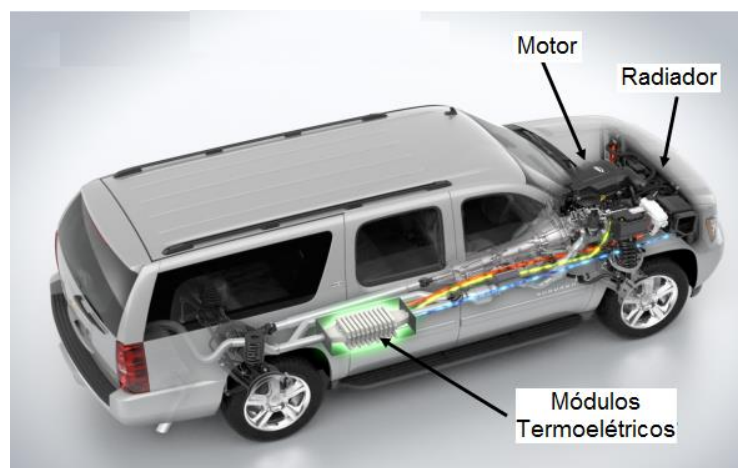


Figura 15 - Aplicação de TEG em Veículo GM Suburban [49]

Dentre as principais vantagens se assegura o baixo custo para produção de eletricidade a alta durabilidade o TEG, que tem sua vida útil de no mínimo 10 anos, podendo chegar até 20 anos. Dentre as vantagens elétricas se considera que pode ser feita associação dos módulos termoeletricos, em série, paralelo ou outros arranjos, o que aumenta potencialmente sua eficiência, além da economia que pode chegar a até 1% de economia no consumo global do veículo [49].

2.8.2 Aplicações da Termoeletricidade nas Indústrias

Nas indústrias a termoeletricidade também pode ser utilizada, já que em grande parte dos processos de produção tem-se perda de energia térmica, e esta, na grande maioria dos casos é dissipada sem nenhum tipo de reaproveitamento. Além de pequenas micro gerações, o que incorpora alimentação de pequenos aparelhos de navegação, telecomunicações e equipamentos de petróleo [25].

Em indústrias de processamento de ferro e aço, há grande capacidade de se realizar tomadas de alguns pontos para o reaproveitamento da energia térmica e converte-la em energia elétrica através da utilização de módulos termoeletricos. A figura 16 mostra uma aplicação para recuperação de calor em fundições através da instalação de módulos termoeletricos para geração de energia através da água utilizada para o resfriamento da escória, onde, a superfície quente é recebida diretamente da água proveniente dos jatos de lavagem da escória e a fria a partir do bombeamento da água fria [50].

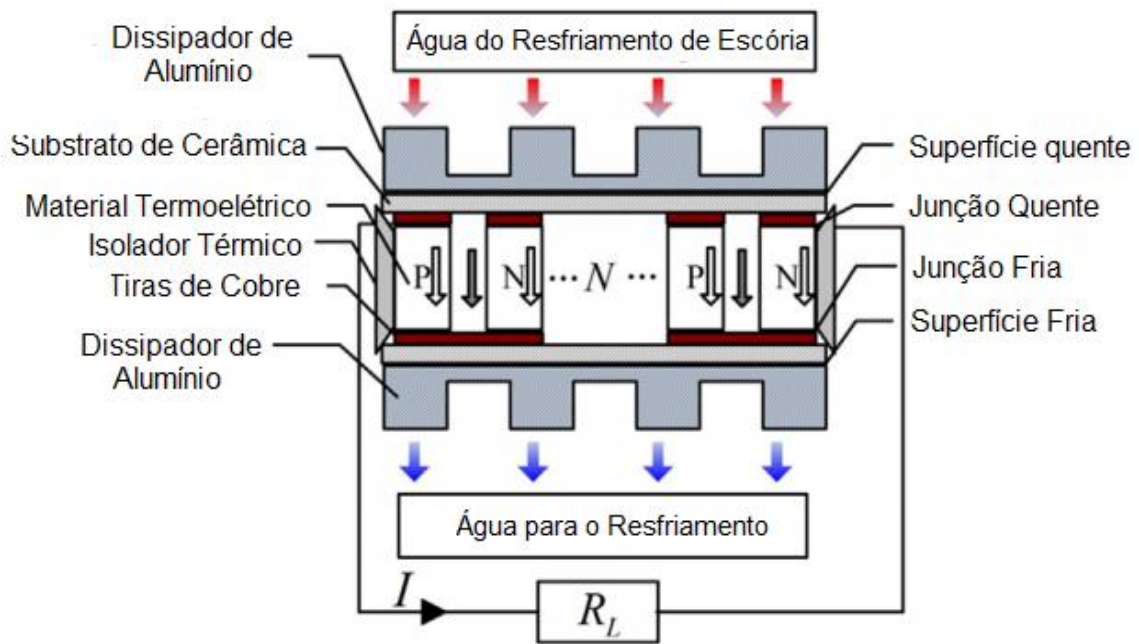


Figura 16 - Processo de Reaproveitamento de Calor para Geração de Energia em Lavagem de Escória [50]

2.8.3 Aplicações em instalações residenciais

Para utilização em residências, os módulos termoelétricos podem ser de grande valia também na cogeração, por exemplo, através de um simples fogão a lenha, como demonstrando na figura 17. As instalações destes módulos nas laterais destes equipamentos podem gerar alguns watts de potência em locais de difícil acesso ou comunidades isoladas, onde muitas vezes o percurso para a eletricidade chegar é complexo.



Figura 17 - Aplicação na área residencial [51]

Para o caso descrito anteriormente, chegou-se a um valor de até 4,5W de potência gerado com apenas um módulo a partir de um valor do lado quente de 250°C e 20°C do lado frio [51].

2.9 Bancadas para Ensaio de Módulos Termoelétricos

Para a obtenção de dados relacionados a cogeração de eletricidade por materiais termoelétricos é necessário construir equipamentos que adquiram dados mistos, elétricos e térmicos, e gerem curvas correspondentes para verificação do rendimento destes materiais.

Este capítulo mostra a construção de algumas bancadas para o fim de levantamento de dados e algumas tecnologias aplicadas para obtenção de curvas.

2.9.1 Bancada para estudo didático de módulos termoelétricos

A bancada para o estudo didático de geradores termoelétricos tem como função comprovar a potência de saída do sinal e monitorar o gradiente de temperatura. O sistema é composto por um módulo termoelétrico, dissipadores de calor e resistores calibrados de carga, e através da medição de sinais através de instrumentos analógicos (multímetros), uma fonte de alimentação e uma câmera térmica é possível efetuar a análise dos efeitos termoelétricos. A figura 18 mostra a bancada e os equipamentos utilizados [52].

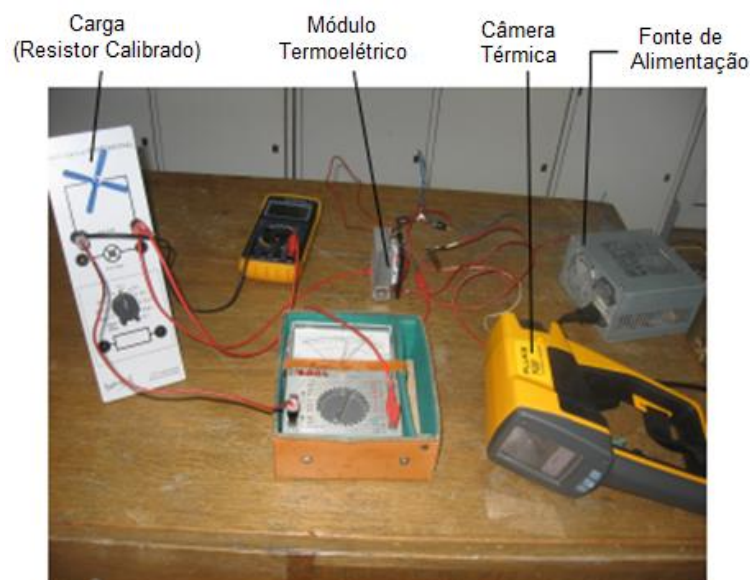


Figura 18 - Banca de estudo para materiais termoelétricos [52]

2.9.2 Tecnologia termoeétrica: propriedades de micro geração elétrica

O esquemático da figura 19 demonstra um sistema de análise de material termoeétrico, que tem como objetivos fazer a medição de temperatura e potência elétrica através de um sistema de hardware encontrado comercialmente.

Para o aquecimento é utilizado um forno científico com controle de temperatura, e sobre ele é inserido o módulo termoeétrico, este por sua vez é ligado a uma carga resistiva.

Composto por sistema de aquisição do sinal de temperatura, três termopares tipo K são inseridos, um do lado quente e outro do lado frio do módulo termoeétrico e outro para medir a temperatura ambiente, estes por sua vez são ligados a um circuito condicionador de sinal.

Para efetuar a leitura de tensão e corrente elétrica, uma placa de aquisição da *National Instruments*® é utilizada, esta placa também recebe o sinal do condicionador dos termopares. Através da placa de aquisição um microcomputador efetua as leituras provenientes do sistema através do *software LabView*®[53].

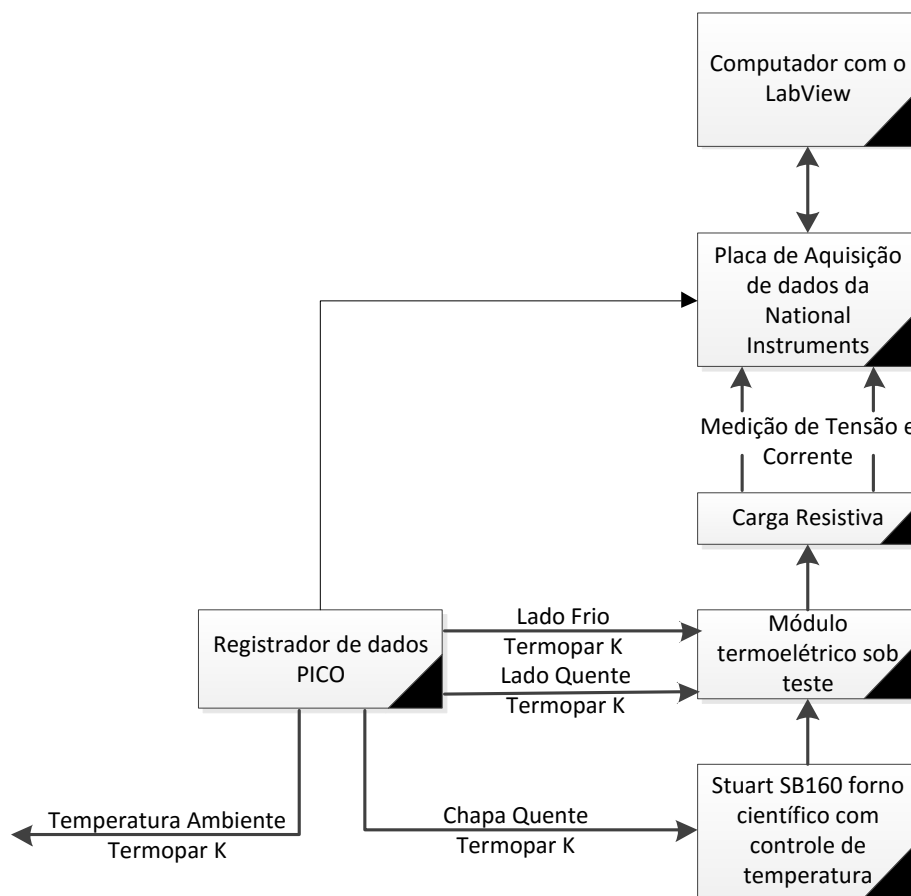


Figura 19 - Esquemática do sistema de aquisição da bancada [53]

Os gráficos gerados através do sistema de aquisição validaram o sistema de cogeração de energia, podendo, segundo os autores, ser utilizados na obtenção do rendimento dos módulos termoelétricos [53].

2.9.3 Plataforma de estudo para aplicações de controle inteligente e sistemas embarcados

A plataforma de estudos, em questão, propõe a programação remota de um microcontrolador para efetuar o controle de temperatura, que utiliza um módulo termoelétrico ou pastilha de Peltier. Sendo possível verificar remotamente o aquecimento de um disco de alumínio e o resfriamento do módulo através de um ventilador, com isto será possível aplicar algumas teorias de controle moderno. A figura 20 mostra o esquemático do processo [54].

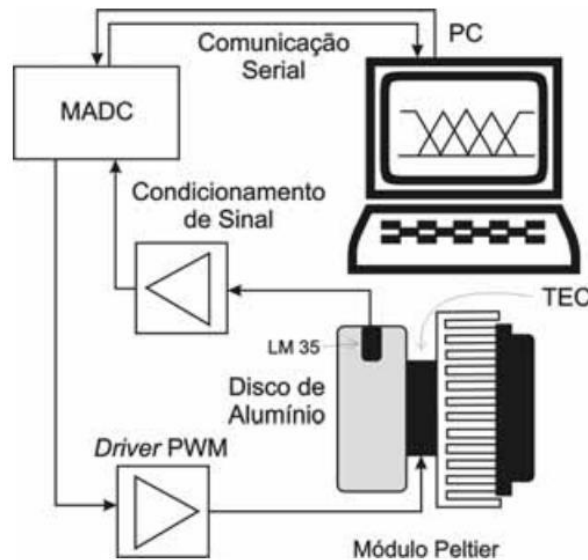


Figura 20 - Bancada de controle embarcado [54]

2.9.4 Sistema de Supervisão e Controle de Aquisição de Dados de Geradores Termoelétricos

Um novo sistema de medição de teste e controle de supervisão e de aquisição de dados com a utilização de controlador lógico programável foi realizada, que permite adquirir dados de um gerador termelétrico, segundo a figura 21.

Durante a produção de a energia elétrica do gerador termoelétrico, as temperaturas das superfícies do gerador termoelétrico, os valores de corrente de tensão são obtidos a partir da

saída do gerador termoelétrico, o fluxo quente e frio foi medido pelo sistema de forma instantânea.

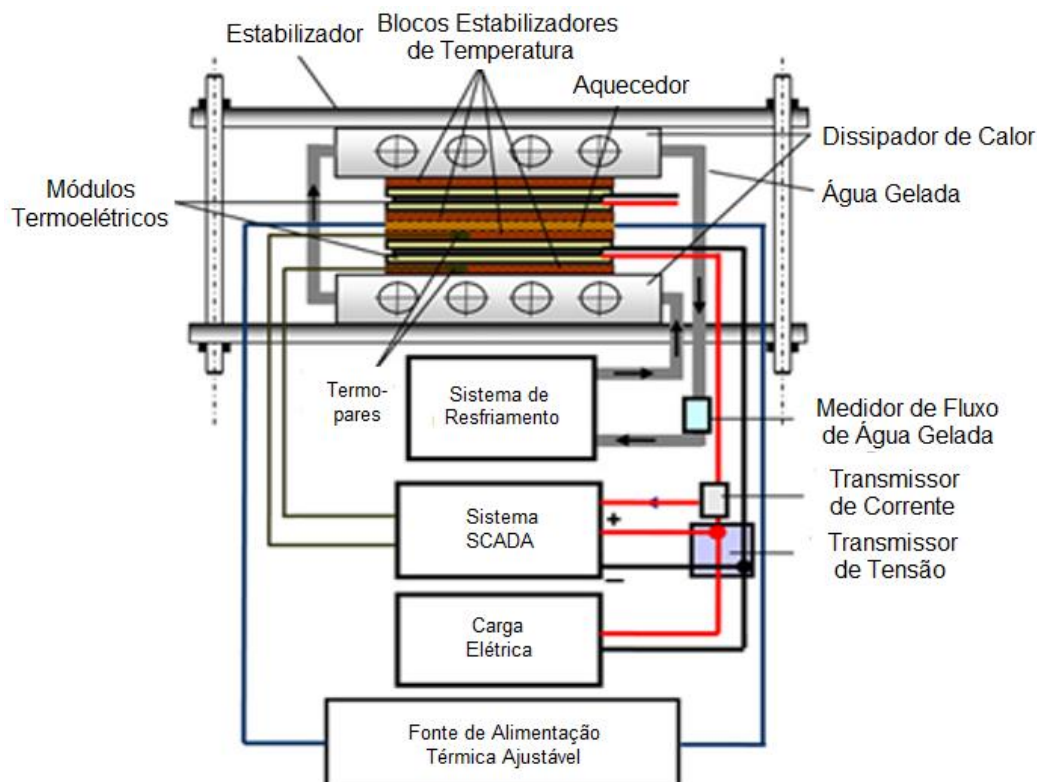


Figura 21 - Diagrama do sistema de aquisição e controle [55]

Os dados são monitorados continuamente a partir do computador e gravado por um programa de controle de supervisão e aquisição de dados. No mesmo tempo, em ambientes onde não havia computador, um painel de operação com a capacidade de se comunicar com o controlador lógico programável foi adicionado para o monitoramento dos dados de geradores termoeletricos instantâneas.

O sistema de medição de teste foi implementado com cerca de 10W de potência, e, os dados examinados foram a potência máxima e eficiência do gerador termoeletrico, com erros relativos de 4% e 3%, respectivamente [55].

2.9.5 Método de aquisição de dados para levantamento de curva carga de módulos termoeletricos

O conhecimento exato do comportamento de geradores termoeletricos baseados no efeito Seebeck é obrigatório a fim de decidir o mais adequado para a aplicação de destino, com isto, são necessárias a montagem de métodos de medição das grandezas envolvidas no processo a fim de levantar as curvas para o ensaio[56].

O método de ensaio a partir do módulo termoeétrico comercial TEC1-12707 fabricado pela empresa HEIBEI. Através de uma configuração de aquisição composta por uma placa de aquisição de dados NI USB-6009, um computador pessoal com o programa LabView da *National Instruments*, dois termistores para medição da temperatura, um ventilador, uma placa de aquecimento com temperatura controlada e resistências de diferentes valores, conforme figura 22 [56].



Figura 22 - Estrutura da bancada de testes [56]

A figura 23(a) mostra as curvas de potência de saída versus a corrente de saída e a Figura 23(b) a potência de saída versus a tensão de saída, realizadas através da aquisição dos dados, onde, foi possível efetuar a comparação de vários gradientes de temperatura as cargas, e com isto determinar o real comportamento dos módulos termoeétricos conforme a carga estipulada no ensaio[56].

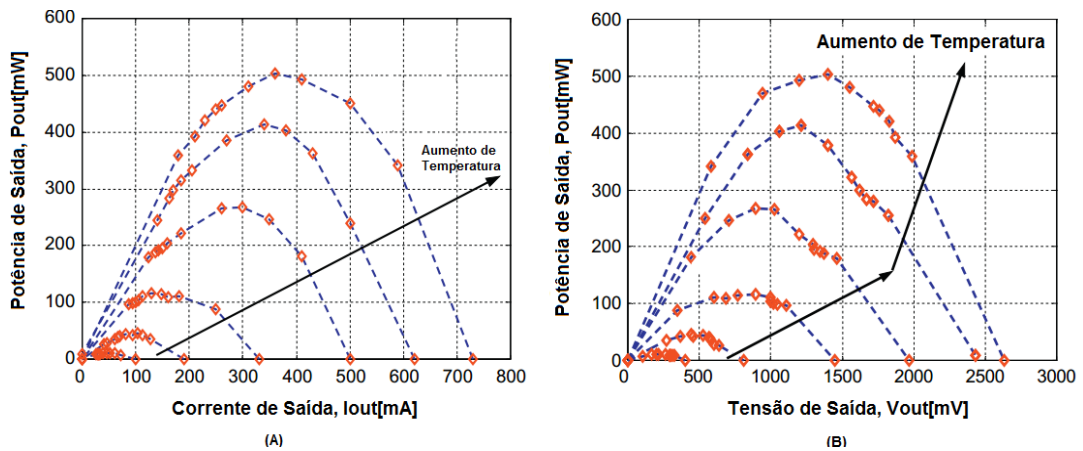


Figura 23 - Curvas de potências versus corrente de saída (A) e Potência versus tensão de saída (B) conforme a variação de temperatura [56]

2.9.6 Estudo experimental em módulos termoelétricos para geração de energia em várias condições de operação

Este estudo analisa diversos parâmetros inerentes aos módulos termoelétricos para a geração de eletricidade, de forma a comparar dados como a temperatura de aquecimento e resfriamento, potência elétrica gerada através da associação dos módulos termoelétricos em diversas condições de operação[57].

Para efetuar a leitura dos dados, uma bancada de testes conforme o esquemático da figura 24(a), foi fabricada conforme figura 24(b), contendo, como fonte de aquecimento uma resistência elétrica, como fonte de resfriamento um sistema de serpentina com um ciclo fechado de líquido refrigerante, além de dois termopares para efetuar a medição da temperatura e um sistema de aquisição de dados para leitura da tensão elétrica gerada [57].

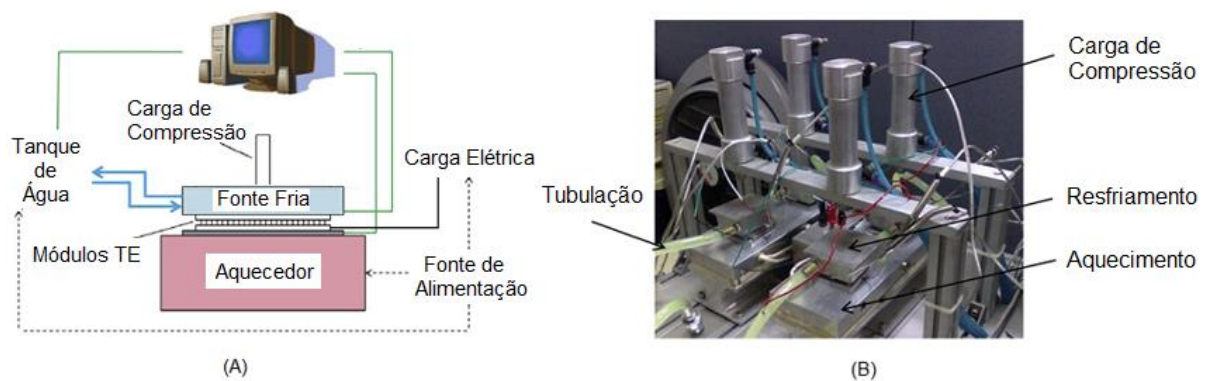


Figura 24 - Esquemática da bancada de testes (A). Experimento realizado (B) [57]

A figura 25 mostra a curva de temperatura da fonte quente, fria e o gradiente de temperatura para o experimento realizado.

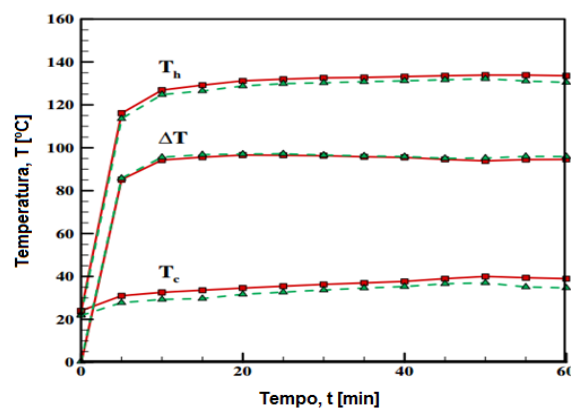


Figura 25 - Curva de temperatura da fonte quente [T_h], temperatura da fonte fria [T_c] e gradiente de temperatura [ΔT] versus o tempo em minutos [57]

2.9.7 Sistema de aquisição de dados *Wi-Fi* para monitoramento em tempo real de módulos termoeletrônicos

Um sistema de monitoramento *Wi-fi* utilizando *software* livre para aquisição em tempo real de parâmetros associados a módulos termoeletrônicos foi criado de forma a efetuar a leitura das grandezas de temperatura da fonte fria e quente e a tensão de saída conforme as cargas aplicadas [58].

A figura 26 mostra a estrutura de testes efetuada para a leitura dos parâmetros relativos a microgeração. O primeiro estágio faz a detecção, condicionamento e aquisição sem fio lê os dados dos sensores ligados ao módulo termoeletrônico em um intervalo de 60 segundos e a salva na memória interna do microcontrolador. A cada 10 minutos o sistema envia para o estágio 2, onde os dados são enviados ao servidor para que sejam salvos em uma base de dados e demonstrados em uma interface gráfica para o usuário[58].

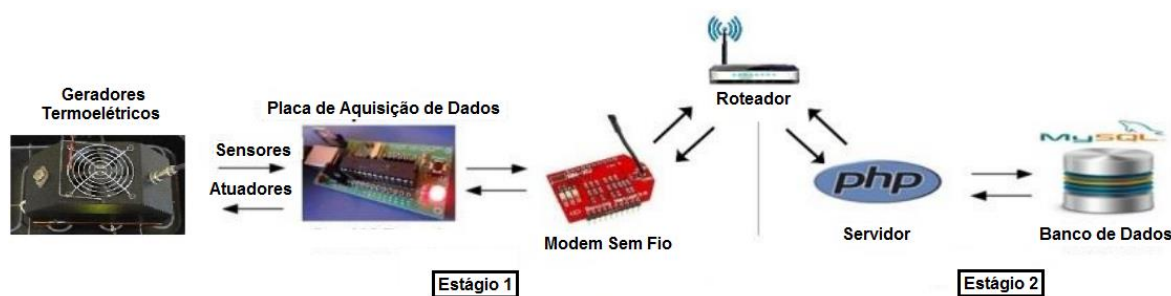


Figura 26 - Interface de monitoramento sem fio para monitoramento de geradores termoeletrônicos [58]

2.10 Elementos de Desenvolvimento da Bancada Didática

Para o desenvolvimento da bancada didática referente a esta dissertação, alguns elementos eletroeletrônicos foram necessários para sua concepção, estes serão relatados neste capítulo.

2.10.1 Sistemas Embarcados

Até a década de 80, ao se fazer um circuito eletrônico necessitava-se de vários componentes juntos a fim de se obter um dispositivo capaz de realizar alguma tarefa específica, ou seja, cada circuito era projetado para apenas uma aplicação. Com o avanço da tecnologia surgiu a microeletrônica sendo possível se integrar vários tipos de dispositivos em apenas um

único componente denominado microchip. A grande vantagem de utilizar-se um dispositivo eletrônico deste é que ele é totalmente programável, ou seja, ao invés de se alterar um circuito físico, alteramos apenas um programa, o que torna a velocidade de desenvolvimento de projeto muito mais rápida [59,60].

2.10.2 O Microcontrolador

Um microcontrolador é um circuito integrado com larga escala de integração, ou seja, possui uma série de componentes como memórias, dispositivos de entrada e saída, temporizadores e processamento em apenas um componente. Resumidamente, é um componente eletrônico dotado de “inteligência” programável, utilizado em uma série de processos e equipamentos. Se a análise for feita de outra forma, considera-se um microcontrolador de um computador de apenas um chip. [61,62]

2.10.2.1 Estrutura Interna de um Microcontrolador

Para entender o funcionamento de um microcontrolador mais a fundo é necessário conhecer algumas estruturas internas, mas esta análise pode se tornar um pouco complexa dependendo do nível eletrônico que se analisa, para isto os fabricantes disponibilizam a arquitetura baseada em um diagrama em blocos, como na figura 27. Destacam-se como principais elementos:

- Barramento: tem a função de movimentar as informações entre os dispositivos;
- Memórias: armazenam as informações do programa, variáveis e instruções;
- Unidades de entrada e saída: recebem informações do ambiente ao processador e retornam ao ambiente agindo no processo a ser controlado;
- Temporizadores: tem a função de temporizar funções;
- Unidade série: envia e recebe informações para dispositivos externos como microcomputadores;
- CPU: unidade de controle, dentre dela estão todos os dispositivos lógicos de controle do microcontrolador, esta parte assemelha-se ao processador de um microcomputador;

- Comunicação série: efetua a comunicação com dispositivos externos, como microcomputadores e até outros dispositivos microprocessados [61].

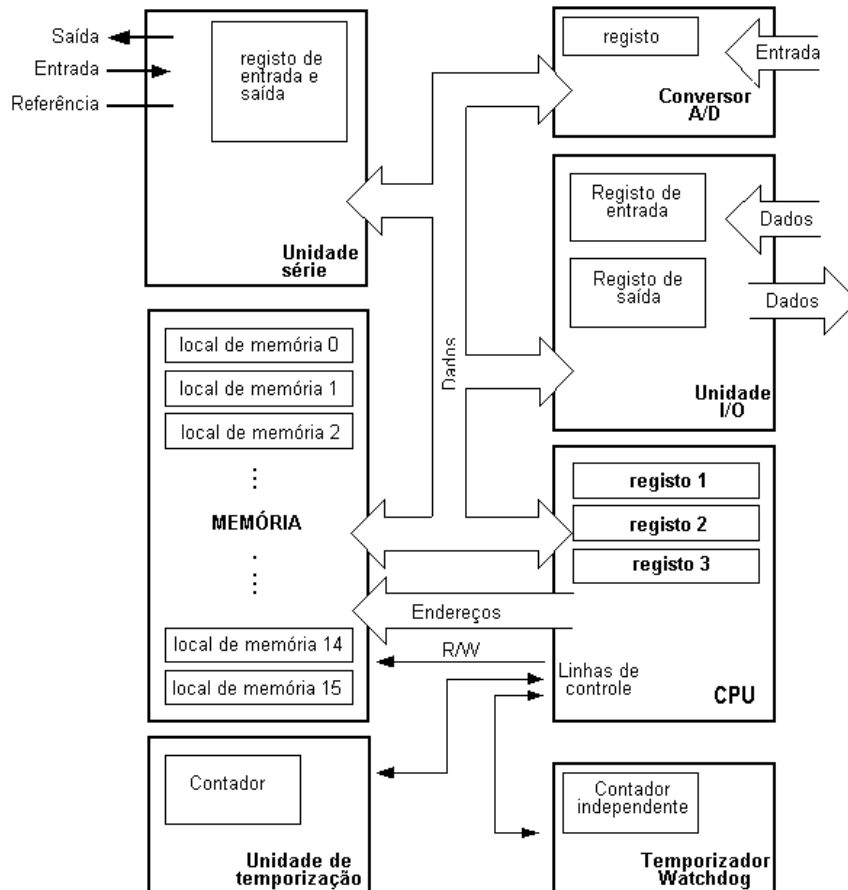


Figura 27 - Estrutura interna de um microcontrolador [52]

As unidades descritas acima são apenas partes de um microcontrolador genérico, existem modelos que possuem uma infinidade de outros periféricos, o que difere na utilização de um ou outro é a necessidade que se possui na tarefa a ser realizada. [61]

2.10.2.2 Periféricos Externos

Para que um microcontrolador possa funcionar são necessários alguns componentes externos mínimos que não fazem parte da estrutura de hardware do dispositivo.

O primeiro deles é o *Reset*, que nada mais é do que um botão externo que reinicia a unidade de controle do microcontrolador, também por muitas vezes é chamado de *Master Clear*

(MCLR). Seu funcionamento equivale ao desligamento do circuito, a figura 28, mostra como pode ser efetuado o circuito de reset de um microcontrolador.

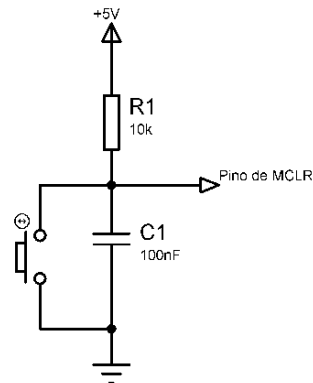


Figura 28 - Reset do microcontrolador

Enquanto o botão de reset não é pressionado o sistema está em nível alto e o microcontrolador está ativo, ao ser pressionado o reset o capacitor se descarrega, colocando o pino em estado baixo forçando o reset. A presença de um circuito com resistor mais o capacitor (Circuito RC) fará com que enquanto o capacitor estiver se carregando o reset fique em nível baixo, este tempo é importante para a estabilização da tensão do circuito quando o mesmo é ligado [63].

O segundo periférico necessário à utilização do microcontrolador é o circuito de oscilador, que tem a função de determinar através de um cristal de quartzo a frequência de acontecimentos dos eventos. Este cristal é fabricado de forma a manter a frequência de oscilação sempre constante e possui valores pré-definidos. Cada microcontrolador possui um valor de oscilação máxima especificado em seu manual. A figura 29, mostra como deve ser feita a ligação de um circuito oscilador [63].

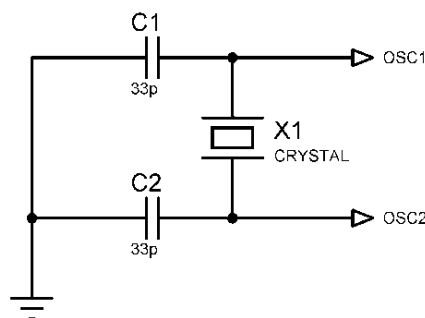


Figura 29 - Circuito oscilador

2.10.2.3 Microntroladores PIC (*Peripheral Interface Controller*)

O PIC é um microcontrolador desenvolvido pela empresa americana MICROCHIP, sendo um dos mais difundidos no mercado brasileiro. Tem como vantagens o baixo custo e vasta literatura, com livros, fóruns e publicações, além de ser utilizado em uma série de equipamentos de com tecnologia nacional[61].

A Microchip é uma empresa precursora no uso de tecnologia RISC (*Reduced Instruction Set Computer* – computador com set de instruções reduzido) em microcontroladores. Esta arquitetura tem como principal característica a quantidade de instruções reduzidas, o que torna o processamento mais rápido [64].

Além disto, possui ainda a arquitetura interna baseado na estrutura *Harvard*, que se caracteriza de barramentos independentes para dados e para programa, e tem como característica fundamental os tamanhos diferenciados (por ex: no PIC16C55X o barramento de dados é de 8 bits, enquanto o de programa é de 14 bits) [64].

Através da figura 30 é possível observar os pinos do microcontrolador (A), bem como seu aspecto real (B).

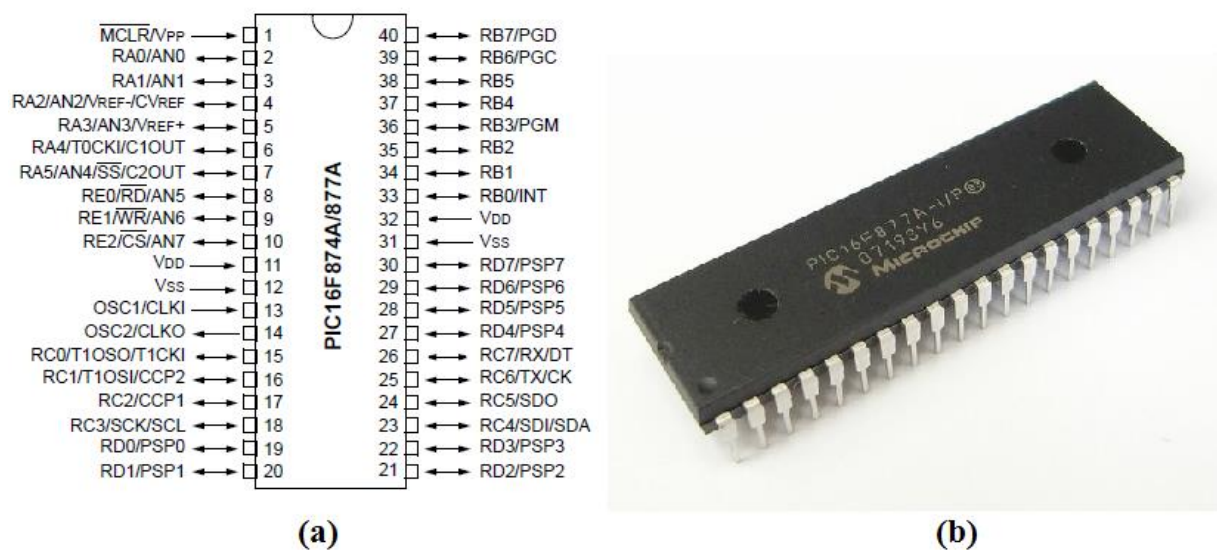


Figura 30 - O Microcontrolador PIC16F877A [64]

A Microchip oferece várias famílias de microcontroladores de 8 bits no barramento de dados que se adaptam aos mais variados projetos. Estas famílias são:

- PIC12FXXX: Linha Compacta.
- PIC16FXX: Linha Intermediária.
- PIC18FXX: Topo de Linha.
- dsPIC: processamento de sinais digital. [52]

A tabela 2 mostra as principais características do microcontrolador PIC16F877A.

Tabela 2 - Características técnicas do microcontrolador PIC16F877A [64]

Característica	Dados
Frequência de Operação	20MHz
Memória Flash (palavra de 14 bits)	8k
Memória de dados (bytes)	368
Memória EEPROM (bytes)	256
Interrupções	15
Portas de E/S	Portos A,B,C,D,E
Temporizadores	3
Comunicação Serial	MSSP, USART
Canais Analógicos de 10 Bits	8

2.10.2.4 A programação do microcontrolador

Um microcontrolador pode ser programado em diversas linguagens diferentes para um mesmo dispositivo. Fazendo um apanhado geral podemos destacar as linguagens abaixo:

- Linguagem de baixo nível: camada inferior à camada de *software*, muito mais ligada o *hardware* do componente, apesar de ter uma velocidade maior que outros tipos de linguagem, pois não necessita de tradução, é muito mais difícil de ser programada;
- Linguagem de máquina: é uma sequência de bits composta de uns e zeros composta geralmente por 8 bits. A linguagem mais usual para este tipo de programação é o *Assembly*, que programa as instruções por pequenos códigos, chamados de códigos mnemônicos;
- Linguagem de alto nível: nestas linguagens há a utilização de uma forma de programação parecida com o que falamos ou escrevemos, um software (compilador) é quem faz a passagem do código de alto nível para o nível de máquina. Como vantagens há a facilidade de se programar e entender o código posteriormente. Dentre as linguagens usuais onde destacam-se o Pascal e o C.
- Linguagem visual: além disto, existem as linguagens visuais, com ela é possível desenvolver um programa desenhando sua janela principal, com a barra de menu, textos, botões, campos de edição, por exemplo [60].

2.11 Condicionador de sinal para corrente ACS712

Para qualquer circuito que efetua a medida de corrente elétrica é necessária uma baixa impedância de entrada, de mesmo modo, a tensão não pode efetuar interferência no circuito, pois este deve ser ligado em série ao ponto que se deseja medir[65].

Uma das opções para a medição de maneira simples e que gera em sua saída um sinal compatível a utilização com microcontrolador é o circuito integrado ACS712, conforme figura 31, que realiza a conversão da corrente elétrica em seus terminais de entrada em tensão elétrica, em um nível suportado pelo dispositivo de conversão[65].

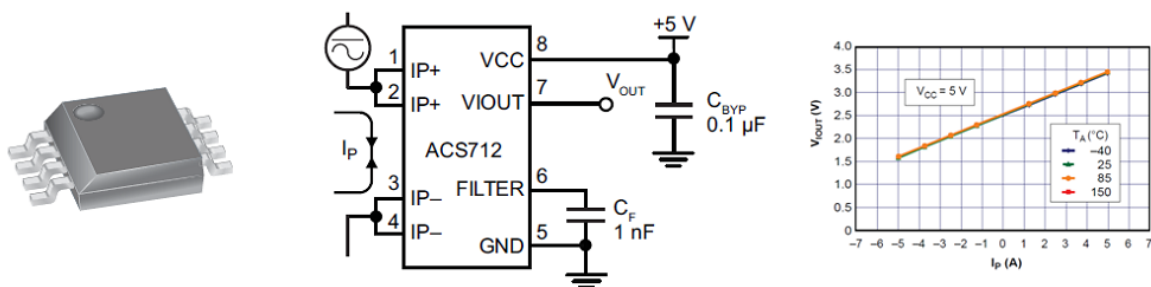


Figura 31 - Circuito Integrado ACS712 e Tensão de Saída Versus Corrente Mensurada [65]

Onde:

- $IP+$: entrada do sinal positivo para corrente;
- $IP-$: entrada do sinal negativo de corrente;
- Vcc : alimentação positiva;
- Gnd : Alimentação negativa;
- $Filter$: entrada de capacitor de filtro para circuito interno;
- $Vlout$: saída do sinal analógico em tensão elétrica proporcional a corrente.

Este circuito integrado possui versões que permitem a medição de 5 ampères até 30 ampères. O modelo ACS712ELC-5A, mede correntes da ordem de até 5A, o ACS712ELC-20A, até 20A e o modelo ACS712ELC-30A até 30A, que podem ser utilizados tanto em aplicações de corrente contínua, quanto em corrente alternada.

Para efetuar a conversão o sistema possui em sua saída um sinal de 0 a 5V de tensão proporcional à corrente de entrada, de forma que se utilizarmos o modelo até 5A, quando a entrada estiver em 0A, sua saída apresentará 2,5V, ao se aumentar a corrente de entrada positivamente a tensão de saída será proporcional a este aumento em 185mV/A, caso a corrente seja negativa esta variação corresponderá a -185mV/A.

Com principais características o circuito tem uma baixíssima impedância de entrada, cerca de $1.2m\Omega$, alimentação de 5V, o que é compatível com dispositivos microprocessador e grande taxa de resposta, cerca de 80KHz.

2.12 Condicionador de sinal para termopar

A maneira mais simples de efetuar a leitura do termopar sem circuitos complexos e sem que se utilizem recursos avançados de software é a utilização de circuitos integrados digitais dedicados a esta função.

No mercado existem alguns tipos de condicionadores e amplificadores de sinal para termopar. Para este projeto optou-se pela utilização do MAX31855K, da *Maxim Semiconducors*. Devido a sua facilidade de interligação através da interface SPI (*Serial Protocol Interface*), e resolução de 14 bits, em uma escala de leitura de $0,25^{\circ}\text{C}$ este foi o elemento escolhido para a leitura das temperaturas.

Sua função é captar o sinal proveniente do termopar e através de comunicação serial síncrona, enviar ao microcontrolador sinais de temperatura e falha, conforme a tabela 3, que é interpretada, transformada em sinal decimal e enviada ao sistema de aquisição no computador. [66].

Tabela 3 - Mapa de bits enviados [66]

	14 Bits de dados de Temperatura				Res.	Bit Falha	12 Bits de dados da Temperatura interna					Res	Curto Vcc	Curto Gnd	Circuito Aberto
Bit	D31	D30	.	D18	D17	D16	D15	D14	..	D4	D3	D2	D1	D0	
	Sinal	MSB 2^{10} 1024°C	.	MSB 2^{10} $0,25^{\circ}\text{C}$	Res.	Falha = 1	Sina 1	MSB 2^6 1024°C	..	MSB 2^4 $0,0625^{\circ}\text{C}$	Res	1= Curto	1= Curto	1=Circ. Aberto	

Os 14 primeiros *bits* são correspondentes a temperatura lida pelo termopar, sendo que o *bit* 31 corresponde ao sinal positivo ou negativo da temperatura, do bit 30 ao *bit* 20 é o valor da temperatura e os *bits* 19 e 18 são as casas decimais. A tabela 4 mostra alguns exemplos de como é a conversão realizada do sinal binário para valor decimal [66].

Tabela 4 - Valores de temperatura e sinal binário [66]

Valor de temperatura	Sinal Binário
+ 1600,00°C	0100 0100 0000 00
- 250°C	1111 0000 0110 00
+100,75°C	0000 0110 0100 11

O *bit 17* não é utilizado, o *bit 16* é o bit de falha de comunicação, do bit 15 ao bit 4 é possível ler a temperatura interna do componente, o bit 3 é reservado, o bit 2 indica se o termopar está ligado ao VCC, o bit 1 indica se o termopar está ligado ao GND e o bit 0 indica se o termopar está aberto. Com estes três últimos sinais é possível saber se há algum problema nos termopares, facilitando a manutenção e a localização das falhas [66].

A conexão entre o microcontrolador e o condicionador de sinal é feita conforme a figura 32, como pode-se observar, apenas 3 pinos são responsáveis por efetuar a comunicação dos dados, são eles:

- SO - saída de dados: envia pulsos binários;
- SCK – pulsos de *clock*: o microcontrolador gera pulsos síncronos para que a comunicação se realize;
- CS – seleção do chip: habilita o início da comunicação dos dispositivos.

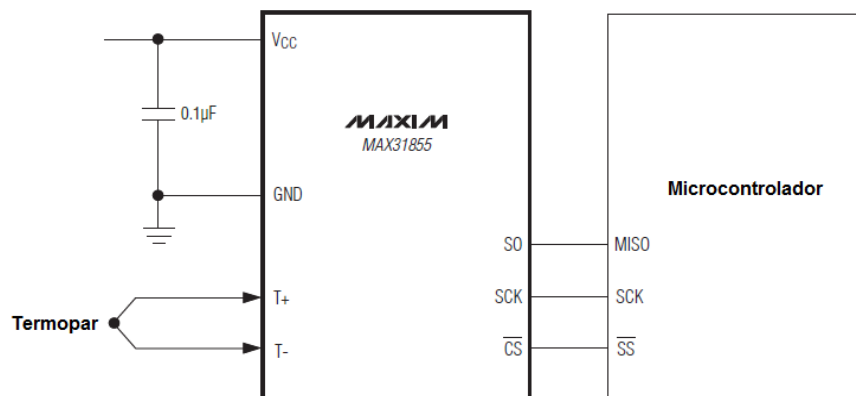


Figura 32 - Conexão do MAX31855 ao Microcontrolador [57]

Além disso, outros dois pinos são responsáveis pela alimentação, Vcc e Gnd, e outros dois são responsáveis por receber o sinal do termopar, T+ e T-.

O próprio manual do componente traz também a forma que o programa do microcontrolador deve ser feito para que o amplificador envie os dados de forma correta. A figura 33 traz como estes sinais são enviados.

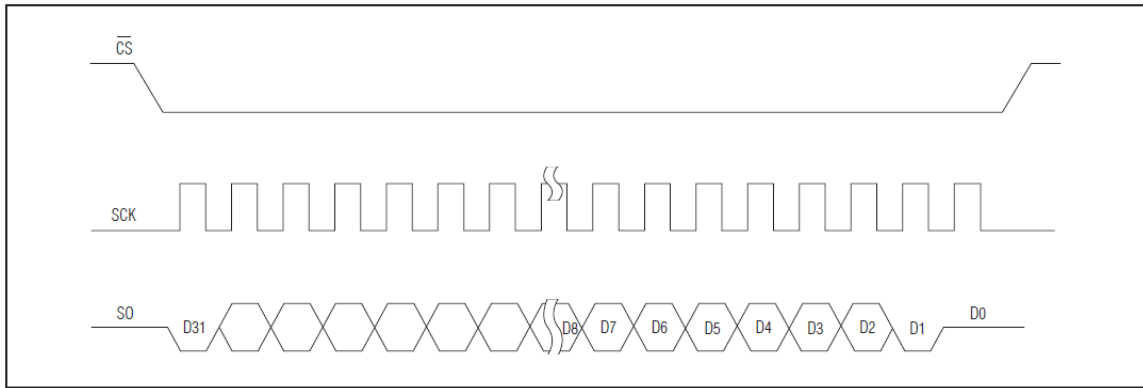


Figura 33 - Forma com que os dados são enviados[57]

Ao se colocar o pino do microcontrolador ligado ao CS em nível lógico zero, o MAX31855 é liberado para iniciar a comunicação, após um curto período de tempo, cerca de 10 micros segundos, é iniciada a sequência de pulsos de *clock* feita pelo microcontrolador, a cada descida deste pulso um bit é enviado através do pino SO, quando os 32 *bits* terminam de ser enviados, o pino CS é levado novamente a nível lógico um, e a comunicação é terminada.

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DA BANCADA DIDÁTICA

O desenvolvimento da bancada didática em questão, prioriza o aprendizado do acadêmico envolvido com a atividade prática, com características que facilitem sua instalação e configuração e obtenção dos resultados.

Dentre as vantagens desta bancada em relação as já apresentadas está a modularidade do experimento, o que permite um rápido *setup* em sua instalação, além dos componentes da fabricação do sistema de aquisição serem facilmente encontrados no mercado, o que facilita que seja replicado facilmente com um custo baixo. O *software* integrado ao sistema de aquisição de dados possui fácil configuração, permitindo a visualização em tempo real do experimento através de gráficos e com a possibilidade de salvar os dados em disco rígido.

Com esta bancada há a possibilidade de monitorar os efeitos termoelétricos, dentre eles pode-se destacar o efeito Seebeck e Peltier. Enquanto na área de ensaios permitirá o levantamento da curva real de desempenho de módulos termoelétricos para diversas aplicações para refrigeração e geração de energia, pois tem a capacidade de realizar a aquisição e armazenamento dos dados de ensaios para posteriores análises comparativas.

Dentre os possíveis experimentos e configurações possíveis de serem realizadas destaca-se o layout esquemático demonstrado na figura 34, neste caso a aplicação é para utilização de módulos termoelétricos para geração de energia.

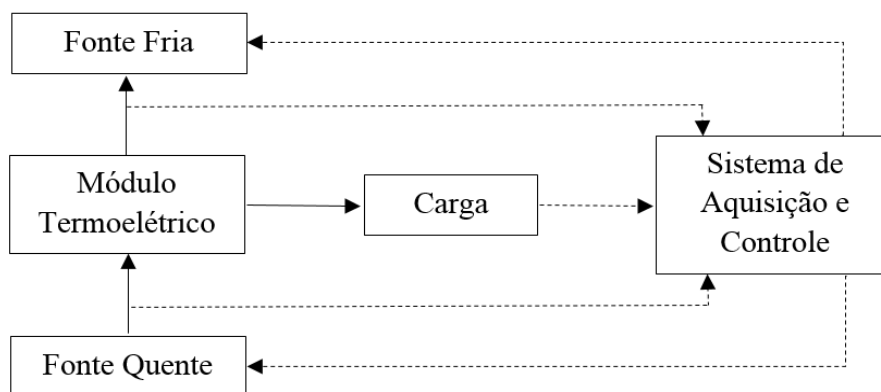


Figura 34 - Método de instalação da bancada

Fonte Quente – a fonte quente tem a função de prover temperatura suficiente a obtenção do delta para cogeração de energia elétrica através de geradores termoelétricos. A temperatura

é controlada via placa de aquisição de dados com o objetivo de manter o valor de gradiente de temperatura.

Fonte Fria – A fonte fria é composta por dissipadores de calor acoplados a sistemas de ventilação para manter a face fria. Podem também ser acoplados outras formas de resfriamento, como blocos de refrigeração a água, por exemplo.

Carga – uma placa com variados tipos de resistores de potência, que podem ser ligados em série ou paralelo provem a carga para o(s) dispositivo(s) geradore(s) do ensaio.

Sistema de Aquisição – o sistema de aquisição de dados é composto por placas eletrônicas microprocessadas que tem a função de condicionar e adquirir os sinais de temperatura, tensão, corrente e potência elétrica, para comunicação com o programa de computador de aquisição de dados. Além disso também controla a fonte quente e fria para manter os valores de temperatura estáveis.

Software de aquisição de dados – sistema computacional que capta os dados proveniente do *hardware* de aquisição e os mostra de forma gráfica ou visual, além de salvar as informações em disco rígido.

3.1 Sistema de Aquisição de dados

A estrutura do desenvolvimento da bancada pode ser observada na figura 35, que é dividida em três módulos:

- a) Sistema Eletrônico microprocessado para aquisição de temperatura;
- b) Sistema Eletrônico microprocessado para aquisição de grandezas elétricas (tensão, corrente e potência) e controle da temperatura quente e fria;
- c) Software de aquisição.

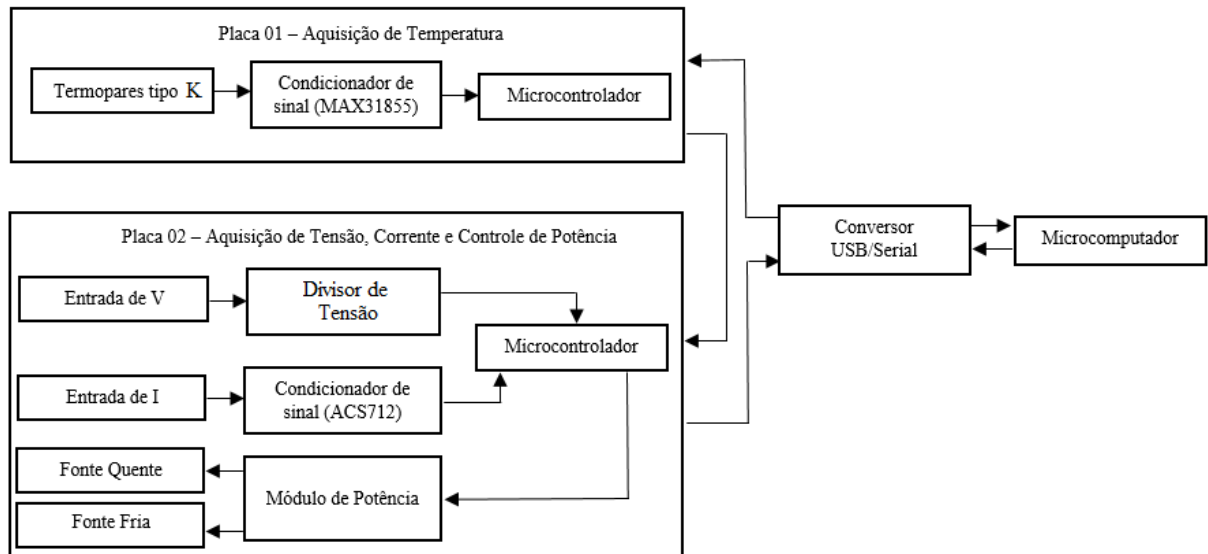


Figura 35 - Visão geral do sistema

Optou-se por um sistema de aquisição descentralizado, de forma que, duas placas independentes foram fabricadas três placas eletrônicas, um módulo para leitura de temperatura, outra para os sinais elétricos e uma última para prover alimentação e controlar as fontes quente e fria. Este sistema modular proporciona como vantagem a facilidade de verificação de falhas.

Para efetuar a comunicação com o microcomputador foi escolhida a comunicação serial, que através de um conversor USB para serial efetua a conversão dos dados.

Já no microcomputador um *software* também proprietário foi desenvolvido, permitindo a configuração individual de cada canal, escalas dos gráficos e intervalo de tempo de aquisição de dados.

O elemento central de cada placa é um microcontrolador, dispositivo este programado em linguagem C, que torna o desenvolvimento do projeto muito mais flexível por incorporar características eletrônicas e recursos de software de grande capacidade.

Foram escolhidos devido suas características técnicas que se adaptam ao desenvolvimento do projeto, características estas que serão descritas mais à frente nesta dissertação.

3.1.1 Circuito eletrônico de leitura e condicionamento dos sinais de temperatura

Conforme a figura 36, a Placa 01 – Aquisição de Temperatura possui como elemento de leitura seis termopares, estes divididos em três canais, ou seja, um sinal para temperatura do lado quente do material termoelétrico e outro para temperatura do lado frio do material

termoelétrico. Desta forma é possível determinar qual o gradiente de temperatura instantâneo do experimento.

Para o processamento, o microcontrolador utilizado foi o PIC16F877A, por se um dos microcontroladores mais difundidos no mercado e custo relativamente baixo por suas características técnicas, e além de ser encontrado facilmente em várias lojas do mercado nacional. Para sua realização desenvolveu-se inicialmente o projeto de uma placa eletrônica modular, como pode ser observado na figura 36 (a) o lado superior do projeto e a figura 36(b) o lado inferior e a placa fabrica em 36(c).

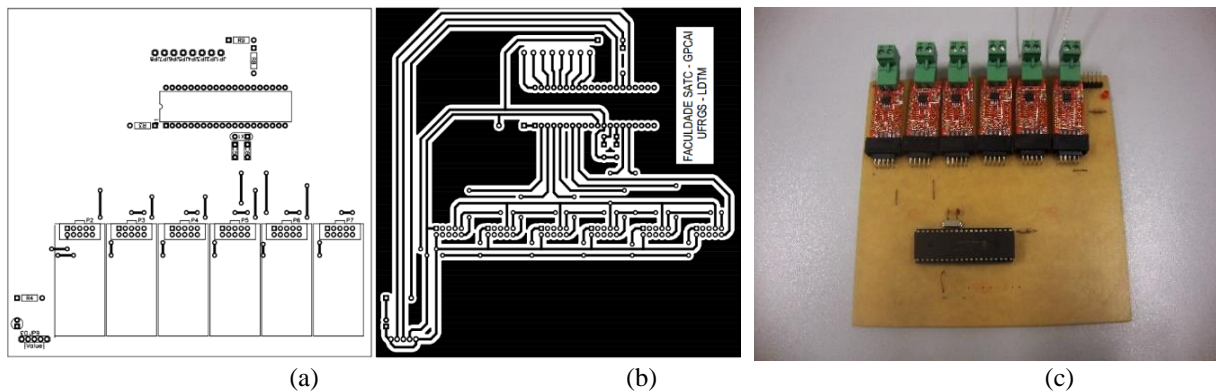


Figura 36 - Placas para aquisição de temperatura

Para facilitar o esquema eletrônico da placa foi desenvolvido um sistema em rede, conforme a figura 37, de forma que dois dos pinos de comunicação entre microcontrolador e os amplificadores de sinal fossem todas unidas no mesmo pino, como é o caso do pino SO, responsável por enviar os dados, e o pino de CLK, responsável por enviar os pulsos de sincronismo. O pino CS foi utilizado individualmente, de forma a habilitar cada dispositivo no momento de sua utilização.

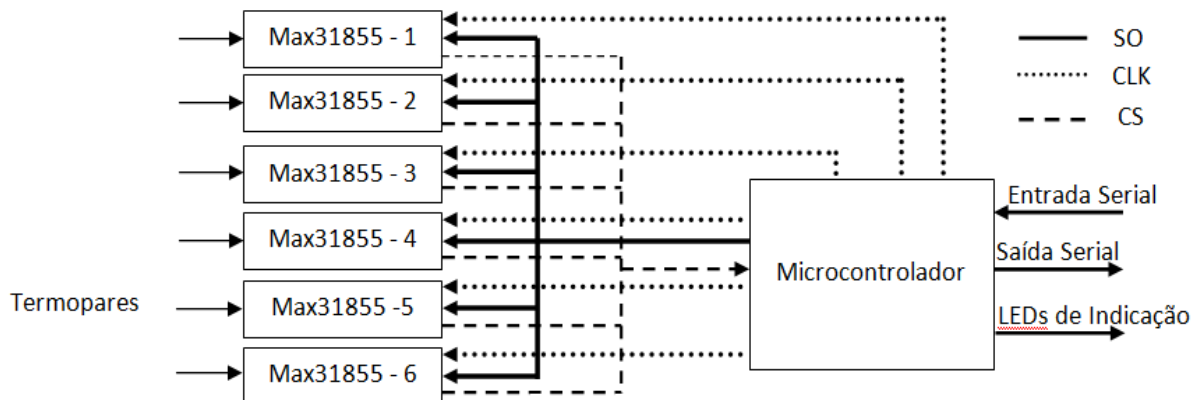


Figura 37 - Estrutura de ligação da placa de leitura de temperatura

Existe ainda um sinal de comunicação proveniente do microcomputador, um sinal de saída de comunicação para a placa de leitura de sinais elétricos e alguns *LEDs* foram utilizados para indicação de estado da placa, que ficam intermitentes em 0,5 segundo indicando o funcionamento da placa, caso este pare de piscar pode-se identificar o travamento do sistema.

3.1.1.1 Sensores de temperatura

Para realização da medida de temperatura utiliza-se termopares, optou-se pela utilização de termopares tipo K que podem trabalhar com temperaturas entre -270 a 1200°C , o que atende as características da maior parte de materiais termoelétricos.

Os termopares têm característica de gerar tensões muito pequenas, na casa dos mili volts e também de não possuir uma curva linear. Para que a leitura seja efetuada de forma correta é necessário um condicionador de sinal, neste projeto foi utilizado o MAX31855, já descrito anteriormente e demonstrado na figura 38.

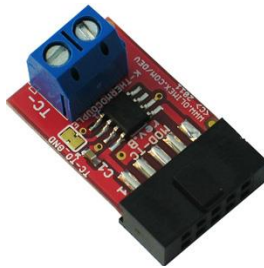


Figura 38 - Placa modular de aquisição de temperatura

Para facilitar o desenvolvimento do circuito, um sistema modular foi criado, de forma que as placas de leitura de temperatura se encaixe em conexões móveis junto aos termopares.

3.1.1.2 Programa do microcontrolador para aquisição de temperatura

A estrutura de varredura do microcontrolador é descrita no fluxograma demonstrado na figura 38, de forma que o programa é executado em uma varredura infinita. Ao receber um dado através de sua porta de comunicação com o microcomputador, e, este dado for referente a temperatura, a leitura do canal correspondente é efetuada e colocada disponível na rede para a leitura do sistema de aquisição de dados.

Caso a informação não seja para este microcontrolador, o sistema apenas o desloca ao próximo microcontrolador, como pode ser observado na figura 39.

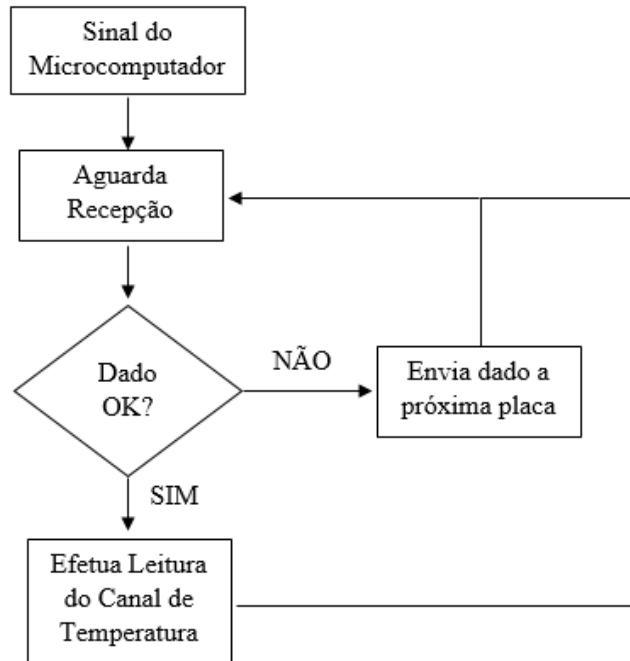


Figura 39 - Varredura do programa de leitura de temperatura

A leitura do canal de temperatura é efetuada de acordo com o capítulo 3.4, onde a estrutura do programa possui rotinas que convertem os valores binários enviados em valores decimais de temperatura.

A figura 40 mostra parte do desenvolvimento do programa do microcontrolador utilizado para a programação em linguagem C, o código completo está descrito no apêndice C.

```

152 int16 read_temp()
153 {
154     BYTE datah, datah=0;
155     INT16 data=0;
156
157     delay_cycles(1);
158     datah=SPI_READ(0);
159     datah=SPI_READ(0);
160
161     IF( bit_test(datah,2))
162     {
163         bit_set (data, 15);
164         RETURN(data);
165     }
166
167     data = datah<<8;
168     data = data | datah;
169     RETURN(data);
170 }
171
172 #zero_ram
173
  
```

Figura 40 - Programa do microcontrolador desenvolvido em linguagem C para a leitura de temperatura

3.1.2 Placa de aquisição de sinais elétricos

Para se adquirir os sinais de elétricos necessitamos captar a tensão e a corrente geradas pelos módulos termoeletrônicos. Foi necessário o desenvolvimento de um circuito eletrônico que atendesse estas características, como elemento de processamento também foi utilizado o microcontrolador PIC16F877A.

A figura 41 demonstra o circuito impresso modular desenvolvido para estas funções, onde, três módulos são utilizados para a leitura da corrente elétrica e outros três para a tensão elétrica. Para ser inserida ao projeto, uma placa de circuito impresso foi confeccionada em apenas uma face, como é demonstrado na figura 41 (a e b) e a placa final em (c).

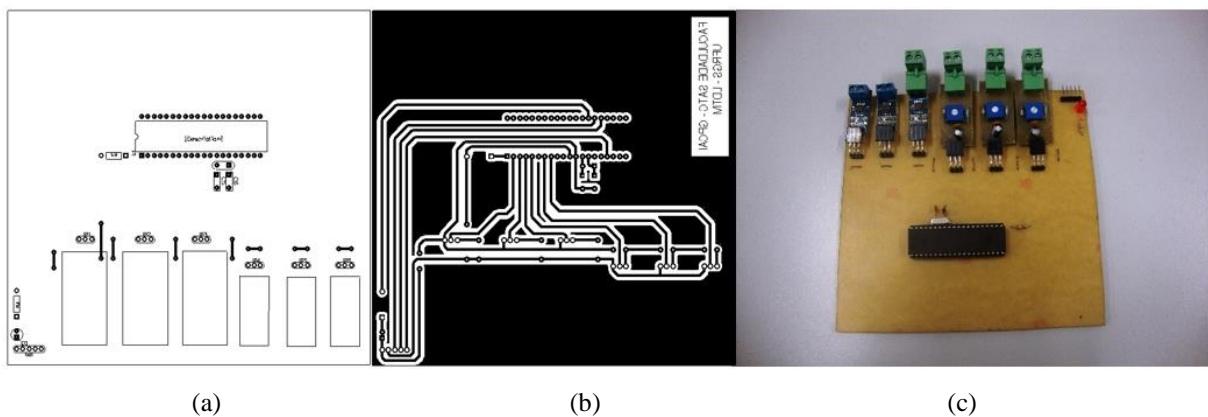


Figura 41 - Placas de aquisição de tensão e corrente elétrica

3.1.2.1 Circuito de leitura e condicionamento dos sinais de tensão elétrica

Para a medição da tensão elétrica o desenvolvimento foi obtido através de um divisor de tensão com ajuste, devido a entrada analógica do microcontrolador permitir apenas leituras de até 5Vcc, desta forma, através da aplicação deste circuito até 24Vcc podem ser aplicados em sua entrada e em sua saída terão apenas 5V.

O circuito divisor de tensão possui duas resistências fixas e uma variável em série de alto valor, as fixas com valor de $3,079M\Omega$ e outro de $1,01M\Omega$, respectivamente e o resistor variável de $1M\Omega$. Dois capacitores foram inseridos no circuito afim de estabilizar as leituras dos sinais.

A inserção do resistor variável permite o ajuste de zero do circuito, caso os dados de leitura estejam incompatíveis ao sinal gerado, sua variação permitirá ajustar o valor lido, conforme demonstrado na figura 42.

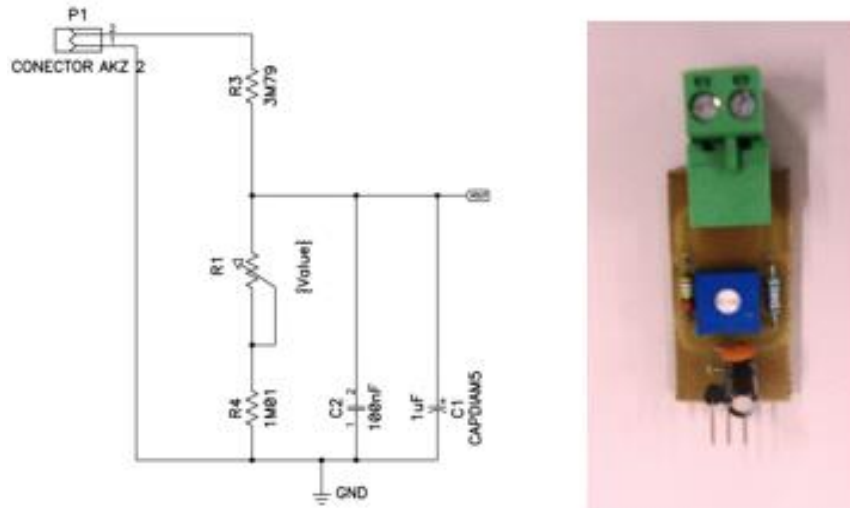


Figura 42 - Circuito e placa para leitura e condicionamento de tensão elétrica

3.1.2.2 Circuito eletrônico de leitura e condicionamento dos sinais de corrente elétrica

Para a aquisição de corrente elétrica foi utilizado o circuito integrado ACS712ELCTR-20A-T. A figura 43 mostra o circuito eletrônico desenvolvido para aquisição de corrente. Para este circuito não foi necessário nenhum ajuste em sua entrada, pois sua saída possui um valor de tensão proporcional ao valor da corrente de entrada, além de não haver distinção de corrente positiva ou negativa para o circuito.

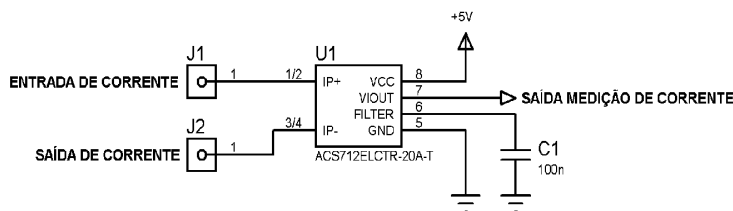


Figura 43 - Aquisição de corrente elétrica

Nas entrada e saída de corrente serão conectados os módulos termoeletrônicos de forma a se efetuar a medição com carga. Na saída medição de corrente haverá um sinal proporcional ao valor da corrente de entrada de até 20A.

3.1.2.3 Programa do microcontrolador da placa de aquisição tensão e corrente elétrica

O segundo microcontrolador é responsável por adquirir os dados dos circuitos e convertê-los em valores decimais proporcionais aos valores medidos. De acordo com a figura 44, ao ser recebido um dado proveniente do microcomputador proveniente do segundo microcontrolador, será feita uma análise determinando se o dado é válido.

Caso seja validado o dado poderá então ser efetuada a aquisição de valores de tensão ou corrente elétrica de uma das quatro entradas disponíveis, ou ainda, efetuar a escrita em seus pinos de saída, para que seja efetuado o controle das temperaturas do lado quente ou frio, e, consequentemente o gradiente de temperatura esperado.

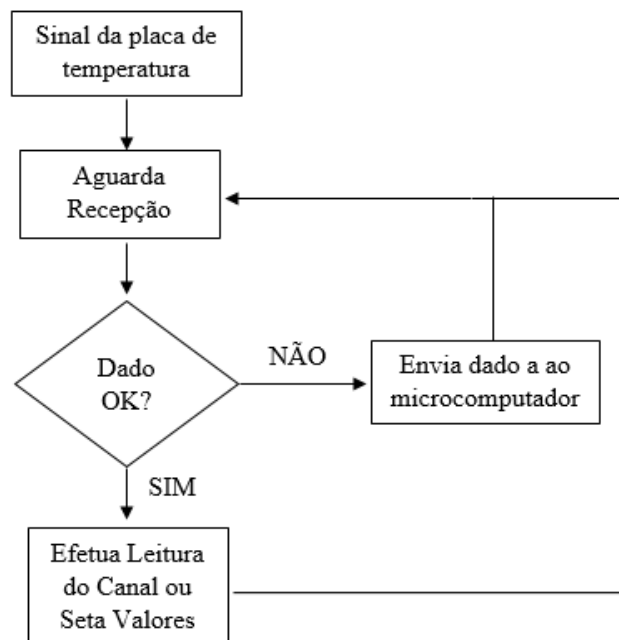


Figura 44 - Varredura do sistema de aquisição escrita de dados

Para a medição de tensão elétrica (V_{lida}) é efetuado um cálculo para que o sinal de entrada que varia de 0 a 5V corresponda ao sinal de entrada da placa, de 0 a 25V. O cálculo é demonstrado na equação 4.

$$V_{lida} = (25 \cdot S) / 1023 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

V_{lida} = valor da tensão correspondente ao valor de entrada [V]

S_{an} = valor convertido pelo A/D do microcontrolador [-]

O microcontrolador utilizado possui um conversor analógico para digital de 10 bits, equivalendo 1023 degraus a 5V da entrada analógica, com isto o mínimo valor que este microcontrolador poderá ler no intervalo é de 4,33mV, ou, 0,00433V. O valor equivalente a entrada analógica, como é 5 vezes maior, 25V, o valor mínimo que a entrada analógica de tensão poderá ler é 0,02165V.

Ainda conforme a equação 7, a tensão apresentada ao usuário do sistema, *V_{lida}*, será o fundo de escala do sistema de aquisição para tensão, 25V, multiplicado pela leitura do conversor analógico para digital (valor de 0 a 1023).

Então, por exemplo, se for aplicado um valor de 1V no canal correspondente, este será dividido por 5, apresentando na entrada do conversor um valor de 0,2V, que internamente convertido pelo microcontrolador em valor digital será aproximadamente o valor 41. Aplicando-se a equação 7 teremos novamente o valor convertido em tensão, que é 1,0019V.

Para a medição da corrente elétrica uma equação também foi efetuada internamente no *firmware* (programa) do microcontrolador, de forma que o valor recebido de 0 a 5V corresponda ao valor de entrada de -5A a +5A.

Primeiramente é convertido o sinal recebido pela entrada analógica para um valor de 0 a 5V, que equivale de 0 a 1023 em sinal digital, conforme a equação 5, isto é realizado pois o sensor de corrente utilizado coloca em sua saída um sinal de tensão equivalente a corrente lida. Quando a corrente vai de 0 a +5A, o sinal de saída é de 2,5 a 5V, quando negativa de 0 a -5V e o sinal de saída é de 2,5V a 0V. Conforme a equação 5, primeiramente é convertido o sinal analógico para um valor de tensão.

$$V_{an} = (5 \cdot S_{An})/1023 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

V_{an} = tensão convertida em volts [V]

S_{An} = valor convertido pelo A/D do microcontrolador [-]

Após isto o sinal é convertido para corrente positiva e negativa, conforme a equação 6, de forma que, se o valor lido em sua entrada for 0A, a saída do sensor disponibilizará 2,5V, aplicando-se a equação, onde o 2.5 descrito na equação é o valor de 0A lido e o valor 5 equivale a máxima leitura do sensor, ou seja, 5A.

Conforme a corrente na entrada sobe, o sinal de saída sobe proporcionalmente, se caso fosse lido 1A de corrente sua saída apresentaria 2,6V, que convertido a sinal digital será de 532, e novamente convertido para sinal de tensão pela equação 5, equivale aos mesmos 2,6V, e ao aplicar a equação 6, teremos o valor lido de 1A, o mesmo apresentado na entrada e que é enviado ao *software* de aquisição de dados.

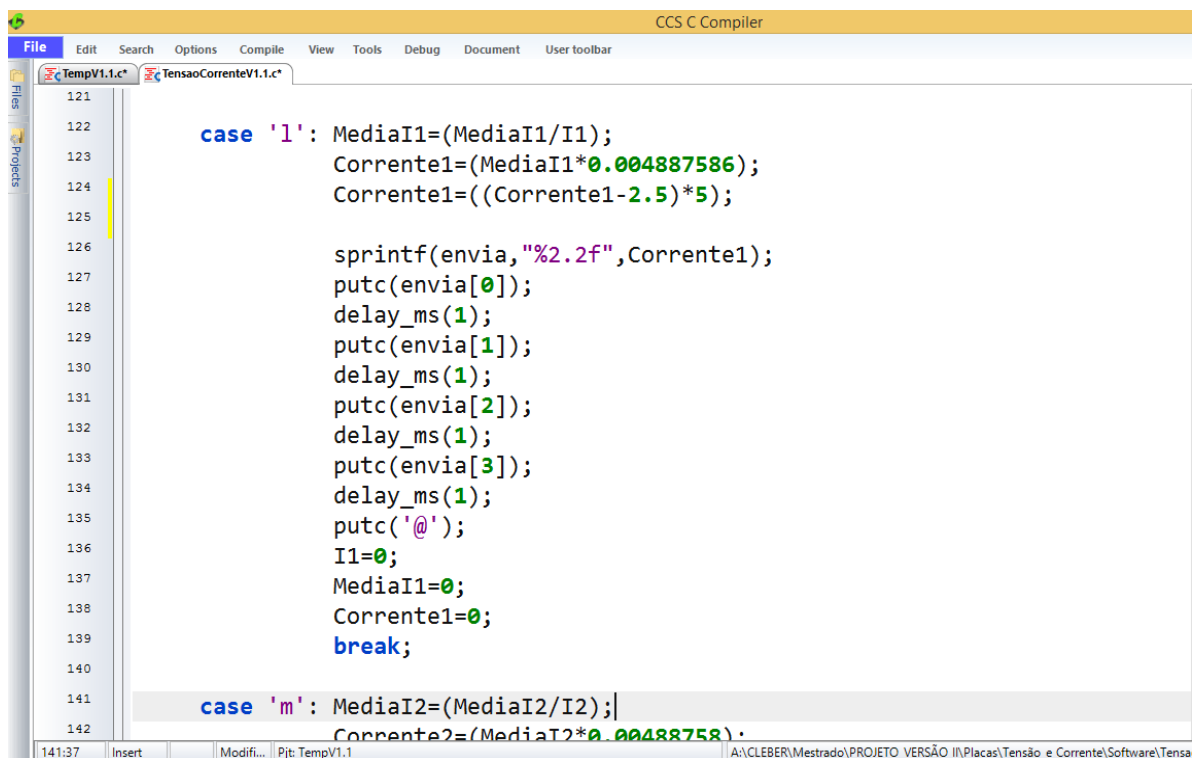
$$I_{lida} = (V_{an} - 2.5) \cdot 5 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

V_{an} = Tensão lida pela entrada analógica correspondente a tensão [V]

I_{lida} = corrente lida pelo sensor [A].

A figura 45 mostra o programa desenvolvido para aplicar as equações e converter o sinal analógico para digital desenvolvido na linguagem C através do compilador da CCS Software Inc e o código fonte completo está descrito no apêndice D.



```

121
122     case 'l': MediaI1=(MediaI1/I1);
123             Corrente1=(MediaI1*0.004887586);
124             Corrente1=((Corrente1-2.5)*5);
125
126             sprintf(envia,"%2.2f",Corrente1);
127             putc(envia[0]);
128             delay_ms(1);
129             putc(envia[1]);
130             delay_ms(1);
131             putc(envia[2]);
132             delay_ms(1);
133             putc(envia[3]);
134             delay_ms(1);
135             putc('@');
136             I1=0;
137             MediaI1=0;
138             Corrente1=0;
139             break;
140
141     case 'm': MediaI2=(MediaI2/I2);|
142             Corrente2=(MediaI2*0.00488758)|

```

Figura 45 - Programa do microcontrolador utilizado para efetuar o conversão e aquisição de tensão e corrente

3.1.3 Controle de potência dos elementos de aquecimento e resfriamento

Para o controle das temperaturas foi necessário a criação de dois circuitos, um de controle em corrente alternada, para a resistência de aquecimento, que é alimentada com a tensão da rede em 220V. E outro de corrente contínua, para o controle do resfriamento controlando um ventilador.

Ambos circuitos serão controlados pela placa 2, demonstrado na figura 46, de forma que um sistema de chaveamento de potência será responsável por variar a tensão sobre estes elementos, e, conseqüentemente sua potência.

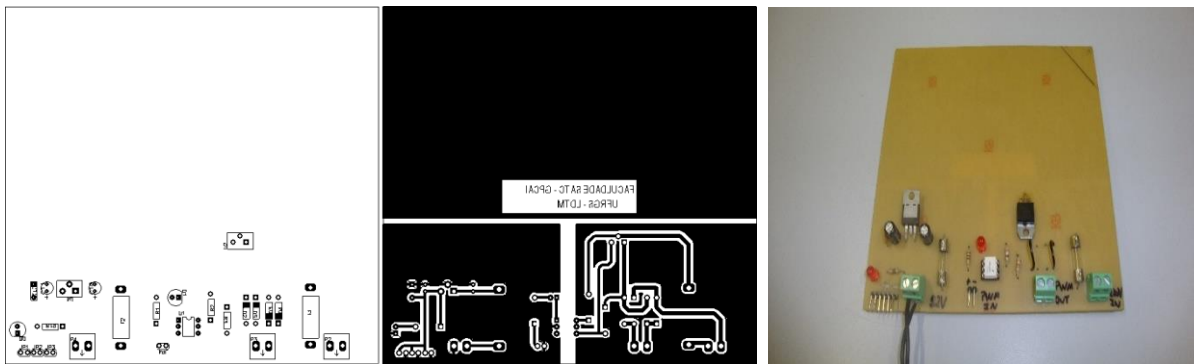


Figura 46 - Layout e placa de circuito impresso do módulo de potência

Para a interação entre corrente contínua (vinda do microcontrolador) e a corrente alternada (que controla a resistência de aquecimento), é utilizado um circuito acoplador óptico, um MOC3041, de forma que este chaveia o elemento de potência que é responsável por controlar a tensão de saída, como demonstrado na figura 47.

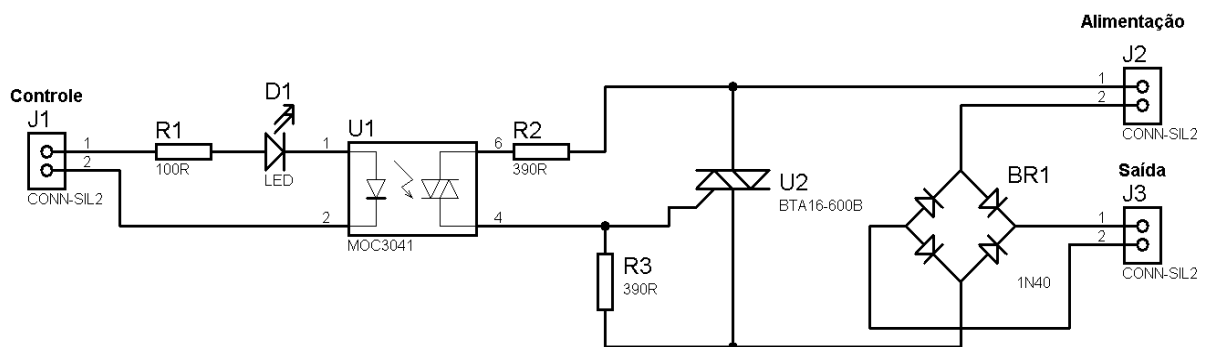


Figura 47 – Circuito do controle de potência CA

Para o controle da ventilação foi utilizado a mesma forma de modulação de potência, de modulação por largura de pulso, também com um circuito isolado, e, para o controle de potência foi utilizado um elemento de controle CC, um transistor do tipo Mosfet, como demonstrado na figura 48.

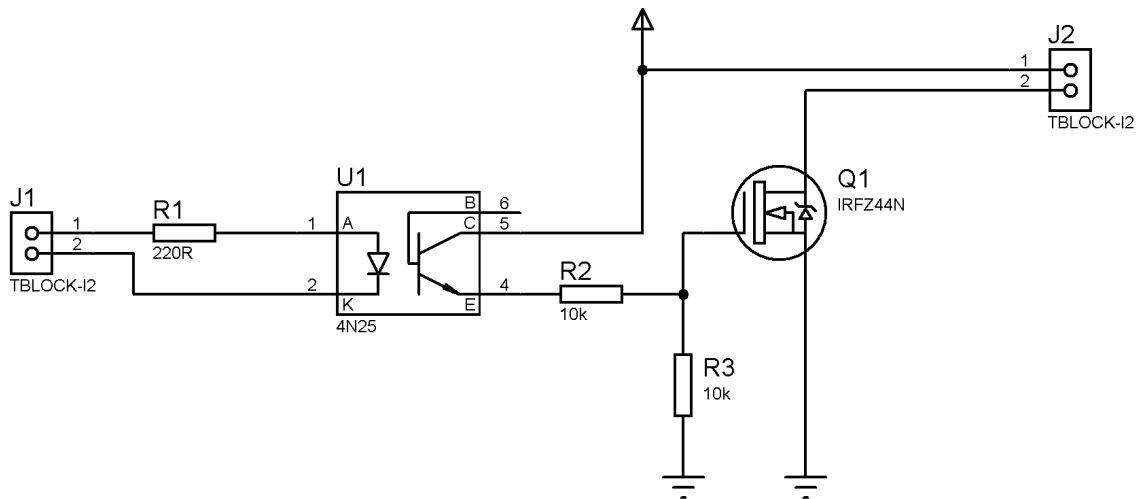


Figura 48 – Circuito do controle de potência CC

3.2 Software de Totalização dos dados

Para totalizar os dados adquiridos de forma visual, um *software* em ambiente visual Delphi® captará as informações dos microcontroladores através da porta serial.

Os dados recebidos serão totalizados e poderão ser visualizados de três formas:

- Gráficos em tempo real de cada canal;
- Valores decimais na tela de análise;
- Arquivo de texto salvo no disco rígido do microcomputador.

Além destas funções, o software ainda tem a função de controlar o gradiente de temperatura do sistema da forma que o usuário necessitar, desde que os valores não ultrapassem os valores máximos e mínimos estipulados do gerador de temperatura quente e fria.

A figura 49 mostra o ambiente de desenvolvimento gráfico do Borland Delphi 7 que foi utilizado no desenvolvimento do programa de aquisição de dados, o código completo de todas as telas desenvolvidas está descrito no apêndice E.

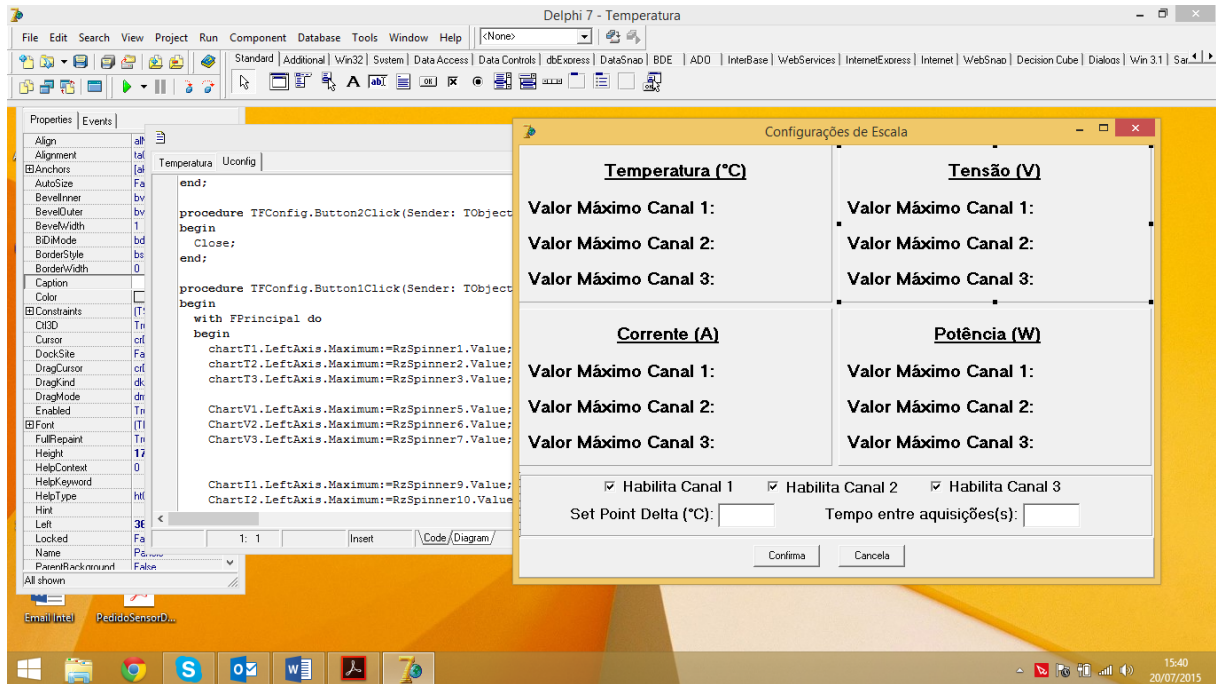


Figura 49 - Ambiente de desenvolvimento gráfico do Borland Delphi 7

O formato do arquivo tipo texto (txt) gerado é demonstrado no exemplo a seguir, e os dados são salvos em forma de tabela:

Temperatura Quente	Temperatura Fria	Gradiente	Tensão	Corrente	Potência
100,00	50,00	50,00	0,50	0,10	0,05
120,00	50,00	70,00	0,80	0,25	0,20
130,00	50,00	80,00	0,90	0,30	0,27

3.2.1 Tela Principal do Programa de Aquisição de Dados

A figura 50 mostra a tela principal do *software*, ela mostra quatro gráficos distintos, o primeiro contém o valor de temperatura, neste caso em vermelho, a temperatura da junta quente, em azul da junta fria e em preto a resultante destes dois valores (gradiente).

O segundo gráfico mostra a tensão elétrica gerada em volts, o terceiro a corrente em ampères e o último a resultante destes dois valores, a potência elétrica gerada ou consumida pelos módulos em watts.

Os gráficos são mostrados simultaneamente conforme a aquisição é efetuada, ou seja, em tempo real. No lado inferior esquerdo é demonstrado qual sinal o software está efetuando a leitura, por exemplo:

- I CH1: corrente do canal 1;
- V CH1: tensão do canal 1;
- TH CH1: temperatura quente do canal 1;
- TC CH1: temperatura fria do canal 1.

O mesmo acontece para todos os outros quatro canais, a sequência de leitura é sempre o valor da temperatura quente, o valor da temperatura fria a tensão e a corrente elétrica.

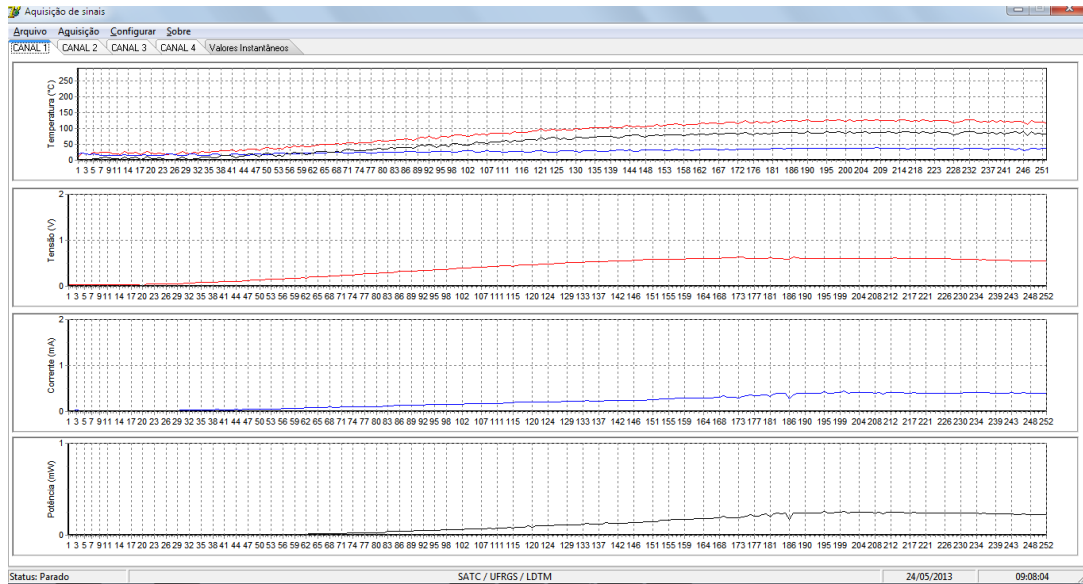


Figura 50 - Tela principal de aquisição

3.2.2 Menu de inicialização do Programa de Aquisição de Dados

Ao iniciar uma nova aquisição o usuário poderá efetuar algumas configurações presentes em um menu secundário, como demonstrado na figura 51.

Figura 51 - Tela de novo arquivo

Nesta tela há como a escolher a pasta onde os arquivos serão salvos, e alguns comentários sobre a aquisição, pois estes dados serão gravados juntos aos arquivos, onde poderão ser identificados o modelo do gerador, o que se está medindo em cada canal, dentre outras funções.

3.2.3 Menu de configuração do programa de aquisição de dados

Através dos menus do programa poderão ser efetuadas configurações como: salvar, salvar como, configurações de comunicação e aquisição. A figura 52 mostra a tela de configuração dos gráficos, que tem como funções:

- Ajuste do fundo de escala dos gráficos: pois dependendo da potência de cada módulo haverá diferenças no valor dos sinais adquiridos, e com este ajuste haverá uma melhor visualização;
- Habilitação ou não de cada canal individualmente: caso um ou mais canais não sejam utilizados na leitura, pode-se desabilitá-lo;
- Ajuste do intervalo entre comunicações: ajustar o intervalo entre cada aquisição de dados, em um valor mínimo de 0,2s;
- Ajuste do gradiente de temperatura: ajuste do *set point* da temperatura que o controle deve possuir sobre os módulos termoeletrônicos;

A imagem mostra uma janela de software intitulada "Configurações de Escala". A janela é dividida em quatro painéis de configuração:

- Temperatura (°C):** Possui três controles deslizantes para "Valor Máximo Canal 1", "Valor Máximo Canal 2" e "Valor Máximo Canal 3", todos configurados para o valor 100.
- Tensão (V):** Possui três controles deslizantes para "Valor Máximo Canal 1", "Valor Máximo Canal 2" e "Valor Máximo Canal 3", todos configurados para o valor 10.
- Corrente (A):** Possui três controles deslizantes para "Valor Máximo Canal 1", "Valor Máximo Canal 2" e "Valor Máximo Canal 3", todos configurados para o valor 20.
- Potência (W):** Possui três controles deslizantes para "Valor Máximo Canal 1", "Valor Máximo Canal 2" e "Valor Máximo Canal 3", todos configurados para o valor 20.

Na parte inferior da janela, há três caixas de seleção para "Habilita Canal 1", "Habilita Canal 2" e "Habilita Canal 3", todas marcadas com um checkmark. Abaixo delas, há dois campos de entrada: "Set Point Delta (°C):" e "Tempo entre aquisições(s):". Na base da janela, há dois botões: "Confirma" e "Cancela".

Figura 52 - Tela de configuração de escala e canal

3.2.4 Fluxograma de funcionamento

A comunicação entre os dispositivos sempre inicia com o computador enviando a informação às placas de aquisição.

Sempre será efetuada uma sequência como descrito na figura 53, a primeira placa recebe uma informação vinda do computador, se caso a informação recebida seja uma petição de temperatura, a placa envia a informação de retorno ao microcomputador que fará a análise da informação e totalização via gráficos.

Caso a informação recebida não seja valor de temperatura, esta é repassada até a próxima placa, que fará análise da recepção, caso seja um valor de tensão ou corrente, será enviada como retorno ao computador.

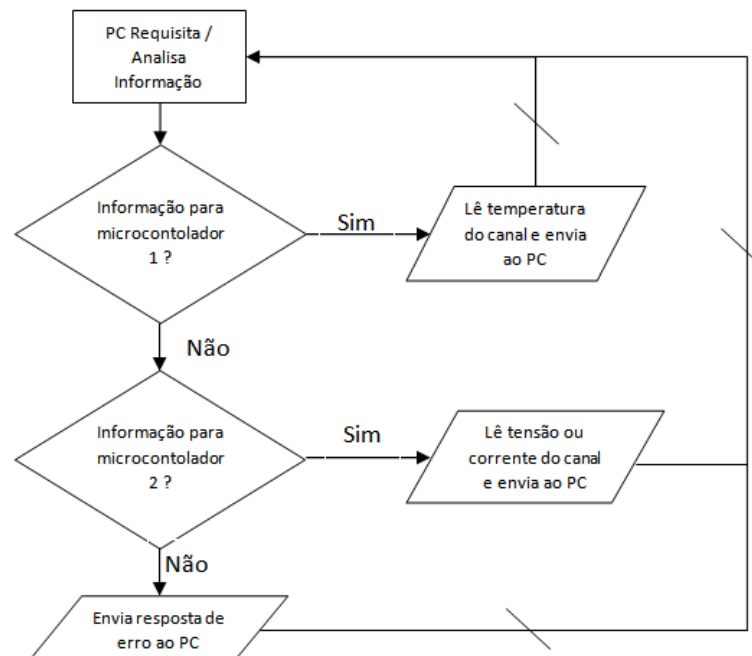


Figura 53 - Fluxograma de funcionamento do software de aquisição

Ao microcomputador enviar uma letra “a”, por exemplo, a placa de aquisição reconhece que deve enviar o valor da temperatura do canal 1, então envia primeiramente a temperatura da junção do termopar, um caractere de separação, finalizando a comunicação com um caractere “@”, com isto finalizando o pacote. A tabela 5 mostra um exemplo de dados enviado e recebido.

Tabela 5 - Exemplo de envio de temperatura

Requisição	Temperatura Lida	Fim de Pacote
“a”	0150,75°C	@

O valor lido pelo exemplo da tabela 05 será de $150,75^{\circ}\text{C}$ de temperatura do termopar, caso fossem enviados outros caracteres o sistema promove o envio dos dados correspondentes.

3.3 Finalização do Projeto Eletrônico da Bancada

Após a conclusão das placas, as mesmas foram colocadas em uma caixa plástica comercial, de forma que as entradas das medições ficassem disponíveis para acoplar ponteiras e levá-las aos pontos de medição, conforme figura 54.

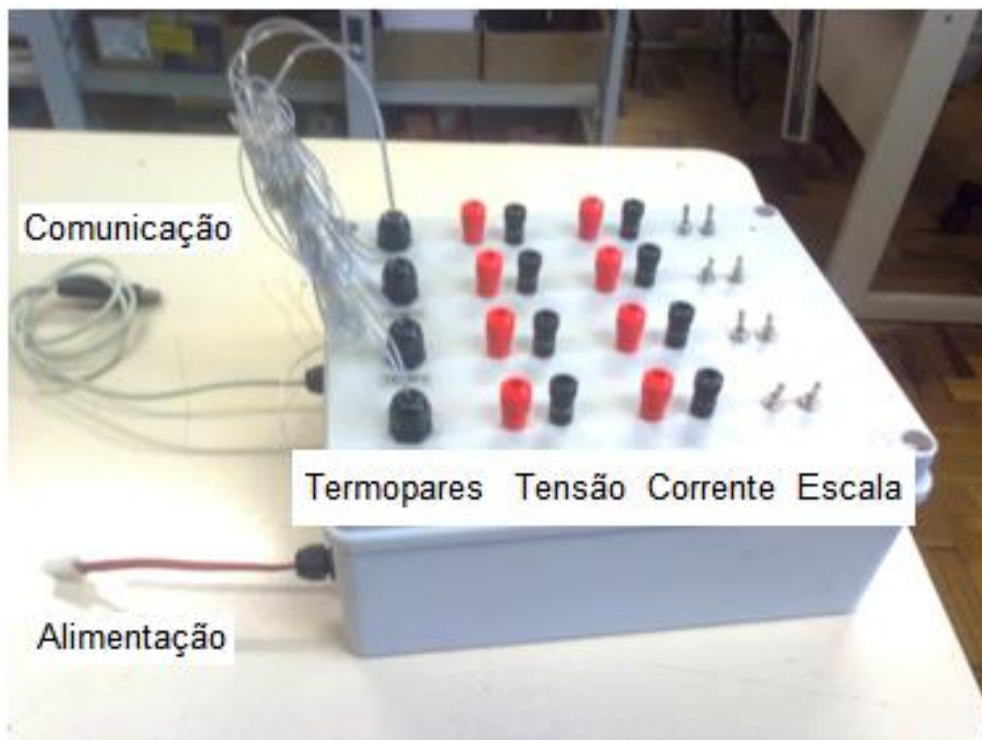


Figura 54 - Primeira versão da bancada

Concluída esta etapa, foram iniciados testes de calibração para verificar a eficácia do projeto para posteriormente ser aplicado no sistema de ensino aos acadêmicos, como descrito em [48]. Mas, alguns problemas foram encontrados, de forma que a ligação dos fios entre placas e elementos de medição acabavam arrebentando, e o acesso às placas ficou difícil para efetuar manutenção ou calibração dos componentes.

Desta forma foi projetada a estrutura mecânica do conjunto, de forma a melhorar o acesso aos componentes, e também distribuir melhor entre a estrutura. A figura 55 mostra os desenhos do projeto mecânico com as placas de forma modular.

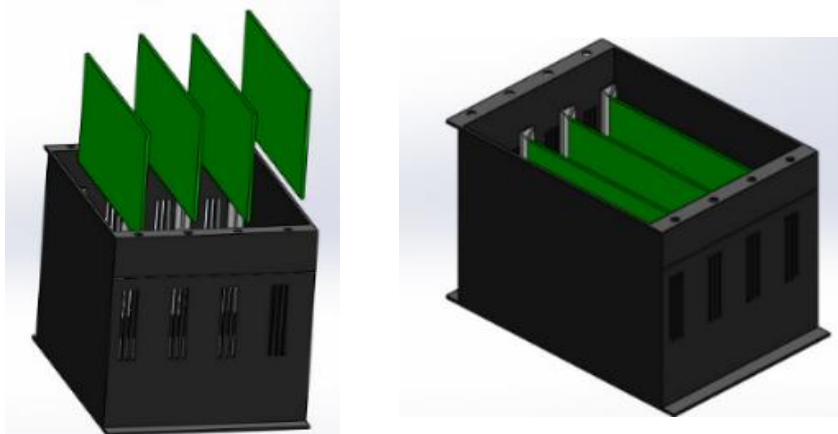


Figura 55 - Nova estrutura mecânica

A nova estrutura mecânica é demonstrada na figura 56, onde foi desenvolvida de forma modular, todas as placas se movimentam, e, cada um dos módulos ainda pode ser retirado, facilitando a possível manutenção e troca de peças.

Em amarelo, na parte superior, a placa possui os circuitos responsáveis por promover a alimentação dos demais circuitos e controlar a fonte quente e fria. Em azul os circuitos responsáveis pela aquisição dos sinais de corrente e tensão elétrica. E, por fim, em verde a placa responsável pela aquisição dos sinais de temperatura.

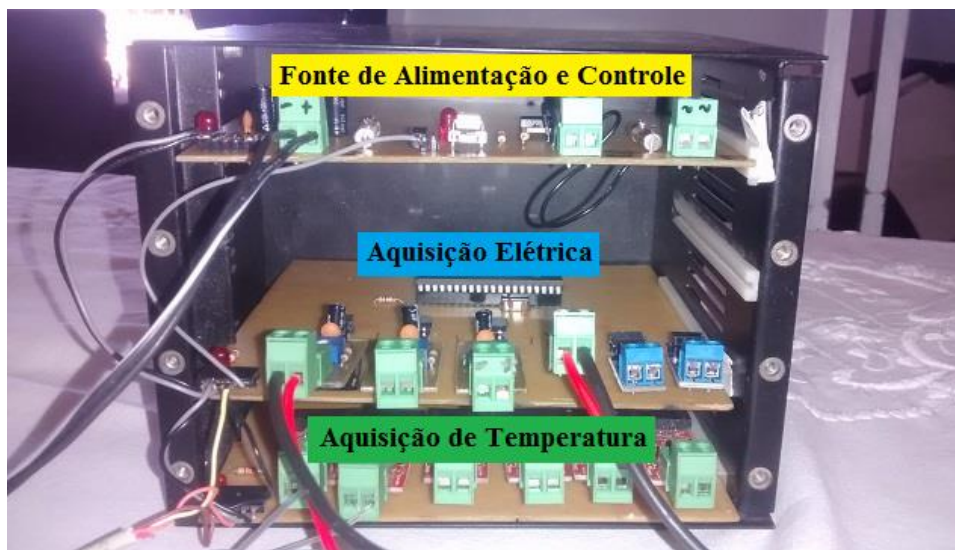


Figura 56 - Nova estrutura mecânica

3.4 Condicionamento de sinais

É muito comum em testes de laboratório efetuar-se a medição afim de retirar as curvas do sistema medido em questão, em que espera-se que a função da curva seja $y=f(x)$, mas nem sempre se dispõe deste formato de equação, sendo necessário um condicionamento destes sinais. A figura 57 demonstra como estes pontos podem ser expressos [67].

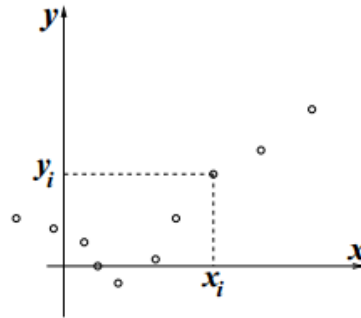


Figura 57 - Pontos retirados de um gráfico [68]

De acordo com alguns métodos matemáticos pode-se reduzir o erro gerado pelo sistema, um destes métodos é o dos quadrados mínimos, que é um método linear simples de relacionar duas retas através da equação 7.

$$f(x) = \beta_0 + \beta_1 \times x \quad \text{Eq. 7}$$

Deve-se então determinar o valor de β_0 e β_1 através da equação 8 e da equação 9 para que o ajuste seja feito, neste caso as equações podem ser expressas por:

$$\beta_1 = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\beta_0 = \frac{\sum y_i - (\sum x_i) \beta_1}{n} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

x = valores lidos

y = valores de referência.

3.5 Validação e condicionamento dos sinais do sistema de aquisição

Com o sistema totalmente montado na caixa e em funcionamento, foi necessário efetuar a calibração dos canais de temperatura, tensão e corrente.

Todos os procedimentos de calibração foram efetuados por comparação no intervalo de medição que a bancada será aplicada de forma obter-se o valor mais próxima do real na indicação da bancada.

A calibração do valor de temperatura foi efetuada através de comparação com um dispositivo, em um multímetro digital Fluke modelo 328, com precisão de 1% e range de leitura de -10 a 400°C, em um intervalo de 0 a 300°C.

Para alcançar as temperaturas mais baixas, inicialmente a calibração foi realizada em um recipiente com gelo, até chegar a temperatura ambiente de 24°C. A partir destas leituras, foi utilizado uma resistência para aquecimento de 1500W, até chegar a temperatura final de 300°C.

Como foram encontradas algumas diferenças entre a leitura padrão e a leitura efetuada pelo dispositivo é necessário o acerto da curva conforme um cálculo matemático, e por consequência um ajuste será efetuado via *software*.

A figura 58 apresenta o gráfico obtido no ensaio realizado em laboratório sem condicionamento de sinal. Ao analisar o gráfico percebe-se um erro com tendência linear ao longo de toda a faixa de operação do equipamento de 0 a 300°C, apresentando erro máximo na ordem de 12%.

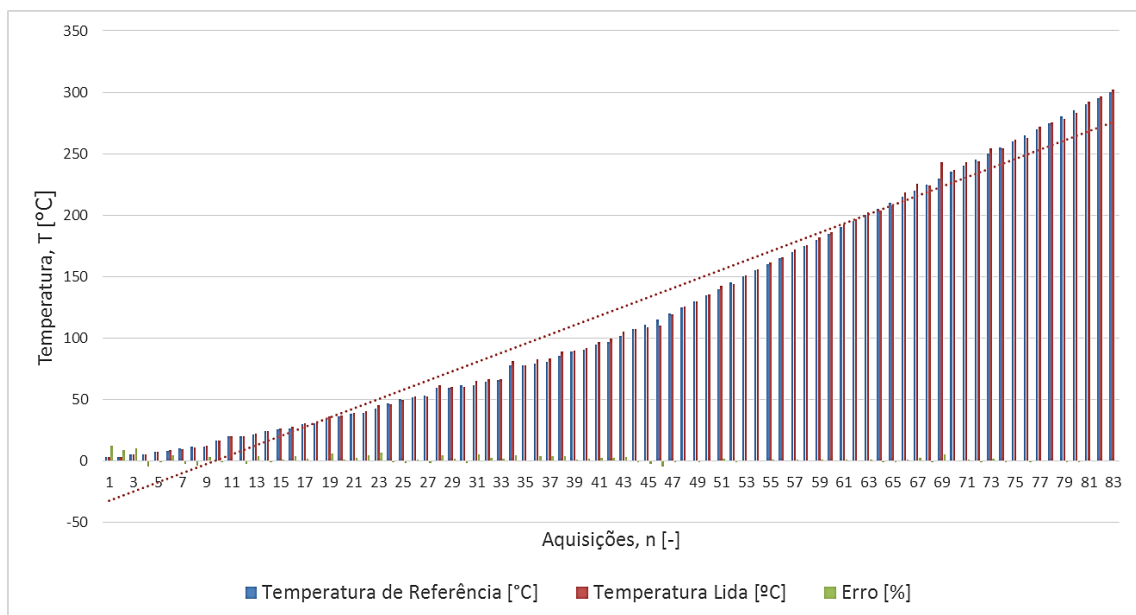


Figura 58 - Gráfico de temperatura [°C] versus Amostras, sem condicionamento de sinal

Com o intuito de aperfeiçoar a resposta do sistema utilizou-se a metodologia de cálculo numérico descrito no capítulo 3.4, e, conseqüentemente, aplicando as equações 8 e 9, obtém os coeficientes β_0 e β_1 dos métodos médios quadrados descrito na equação 10.

$$T_{med} = (0,9879 * T_{am}) + 0,1936 \quad \text{Eq. 10}$$

Onde: T_{med} – temperatura medida [°C]

T_{am} - temperatura amostrada [°C]

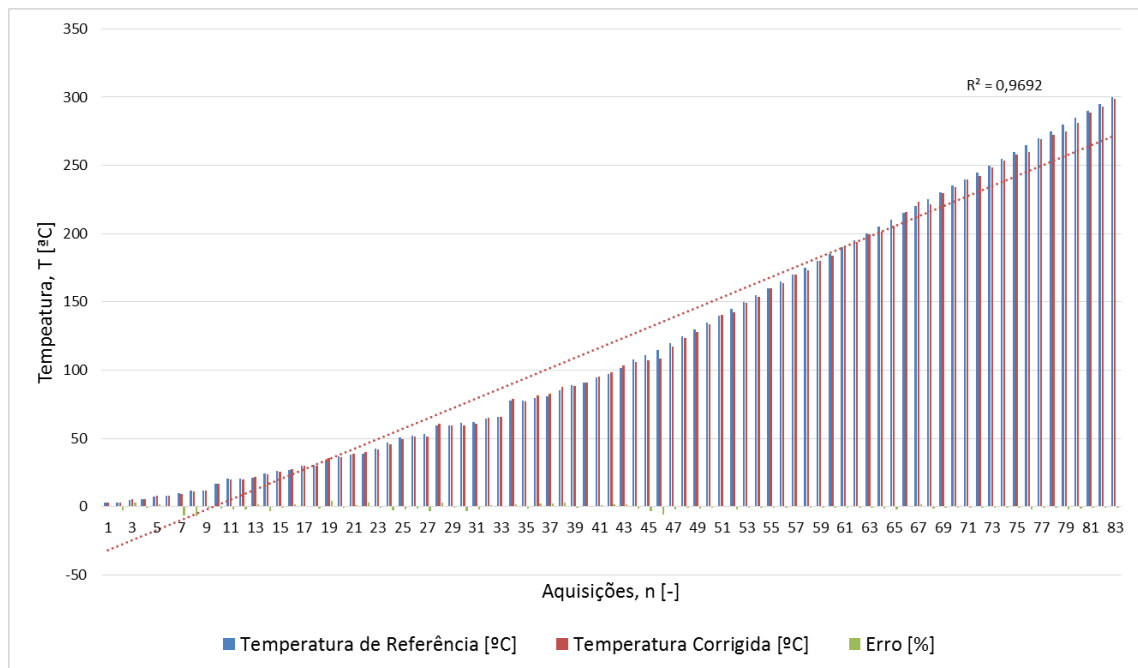


Figura 59 - Curva de temperatura[°C] x Amostras[-], com condicionamento de sinal

Refazendo os ensaios, e, utilizando a equação acima, obtém-se os resultados descritos na figura 59, onde o erro máximo do sistema reduziu-se para aproximadamente 3%, ficando bem abaixo do valor obtido anteriormente.

Da mesma forma foram efetuadas as curvas de calibração e ajuste das curvas de tensão elétrica, através da comparação com o multímetro da marca Fluke, modelo 116, com precisão de 0,5% e range de medição de 60V.

A figura 60 mostra o gráfico sem a linearização e o valor do erro obtido. O erro máximo obtido na curva sem a linearização do sinal chegou a até cerca de $\pm 4\%$, aplicando-se novamente os métodos numéricos do capítulo 3.4, forma encontrados os coeficientes β_0 e β_1 para os valores amostrados e medidos de tensão elétrica.

A equação expressa equação 11 demonstra o cálculo efetuado para melhor condicionamento do sinal de tensão.

$$V_{med} = (1,01 * V_{am}) + 0,02 \quad \text{Eq. 11}$$

Onde: V_{med} – Tensão elétrica medida [V]

V_{am} – Tensão elétrica amostrada [V]

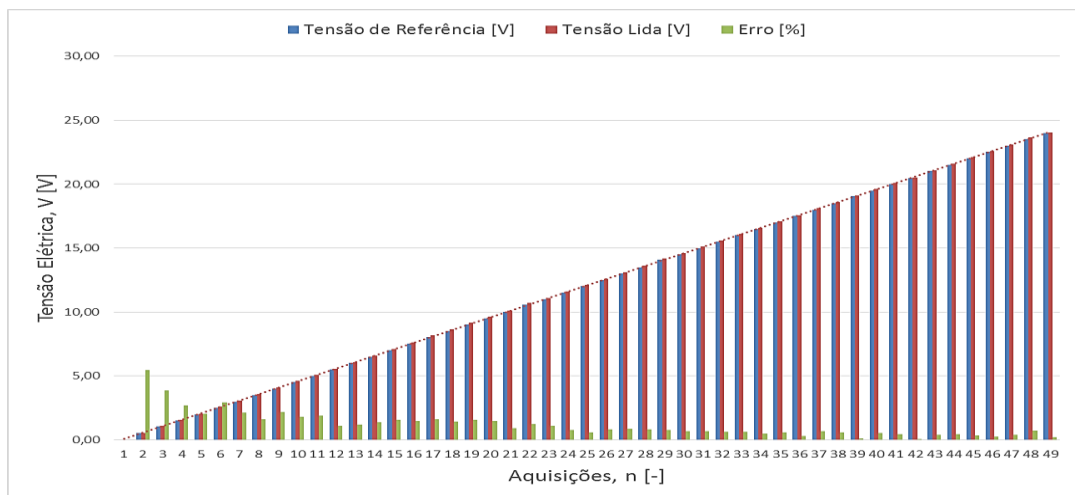


Figura 60 - Curva de tensão [V] versus Amostras sem condicionamento

O gráfico da figura 61 mostra o resultado aplicando-se a linearização do sinal, pode-se observar que o erro agora é 1%, o que comprova a eficácia do sistema de linearização, e, conseqüentemente não haverá erro muito baixo no equipamento.

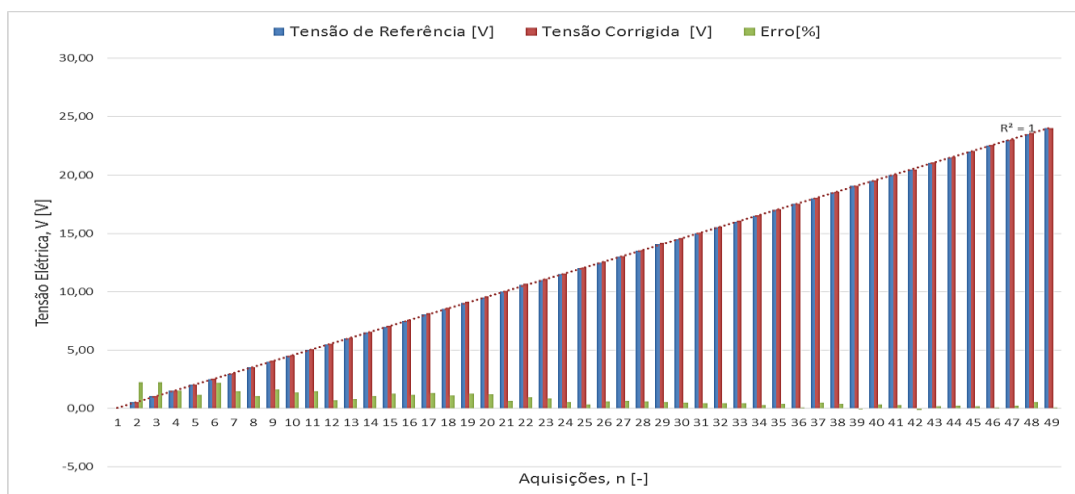


Figura 61 - Curva de tensão[V] versus Amostras com condicionamento

E por fim foi realizada a linearização da corrente elétrica do sistema de aquisição, utilizando o multímetro Fluke, modelo 116, com precisão de 1% e range de leitura de 6A.

Da mesma forma a figura 62 mostra a curva sem a linearização do sinal. Aplicando-se o mesmo método anterior foi possível chegar na equação descrita na equação 12.

$$I_{med} = (0,97 * I_{am}) + 0,03 \quad \text{Eq. 12}$$

Onde: I_{med} – Corrente elétrica medida [A]

I_{am} – Corrente elétrica amostrada [A]

Percebe-se um erro próximo a 20%, o que poderá ocasionar problemas no sistema de aquisição, pois o usuário não obterá um valor real de leitura.

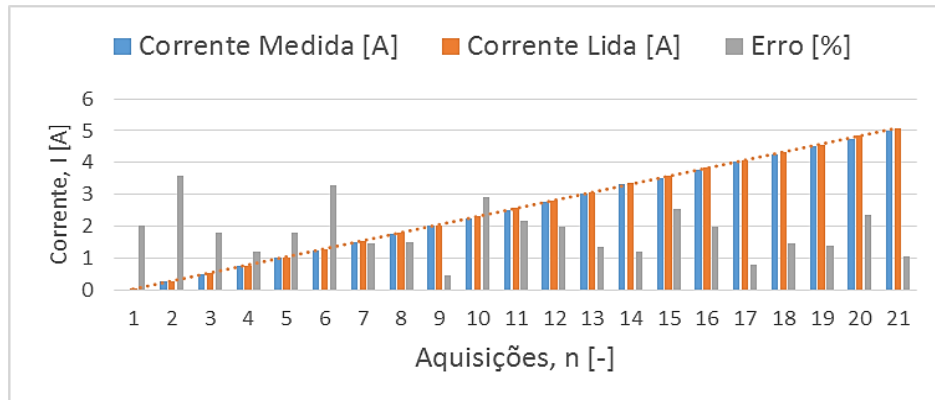


Figura 62 - Curva de corrente [A] versus Amostras sem condicionamento

Com a aplicação dos métodos numéricos quadrado, chegou-se a um valor de erro também muito baixo, em torno de $\pm 1,5\%$, conforme figura 63.

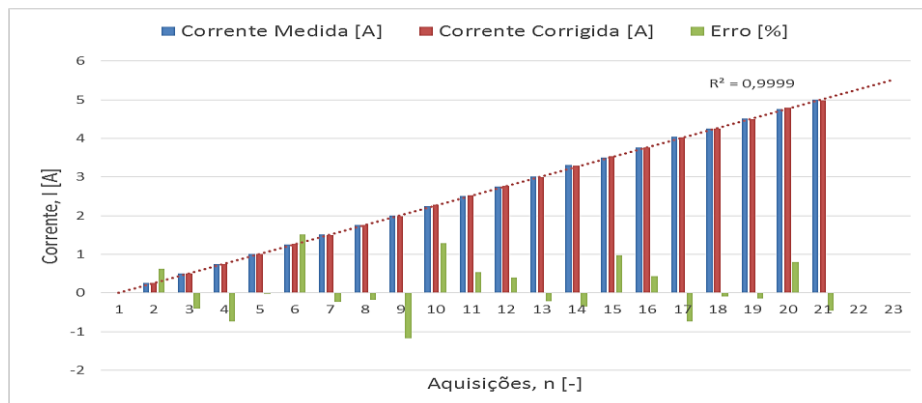


Figura 63 - Curva de corrente [A] versus Amostras com condicionamento

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após o desenvolvimento de toda a estrutura com os sistemas de aquecimento, resfriamento, leitura e aquisição de dados desenvolvidos e devidamente calibrados, testes de laboratório foram realizados afim de se testar a estabilidade e funcionalidade total de cada um dos elementos.

A realização do procedimento de testes foi realizada dentro do padrão científico necessário experimentalmente, e, utilizando alguns equipamentos para obtenção de um gradiente de temperatura correto a realização do teste. Como fonte térmica para aquecimento, o elemento utilizado foi uma termoresistência que pode chegar a até 1500W de potência, para o resfriamento um dissipador de calor feito em alumínio e um ventilador para manter estável a temperatura fria baseada nos artigos referenciados em [52,55,56].

A figura 64 mostra o diagrama em blocos do experimento teste do experimento em realizado. Na parte inferior o sistema de aquecimento, sobre ela uma placa em alumínio com pequenos furos para inserção dos termopares, sobre esta placa é inserido o módulo termoeletrico modelo inbC1-127.08HTS, na sequência uma segunda placa de alumínio também perfurada para inserção dos termopares, o dissipador de calor e o ventilador para trocar o calor com o ambiente.

Como carga para os módulos termoeletricos, resistores de potência foram ligadas aos seus terminais de saída. A tensão elétrica gerada e a corrente elétrica são medidas pelos respectivos módulos do sistema de aquisição de dados.

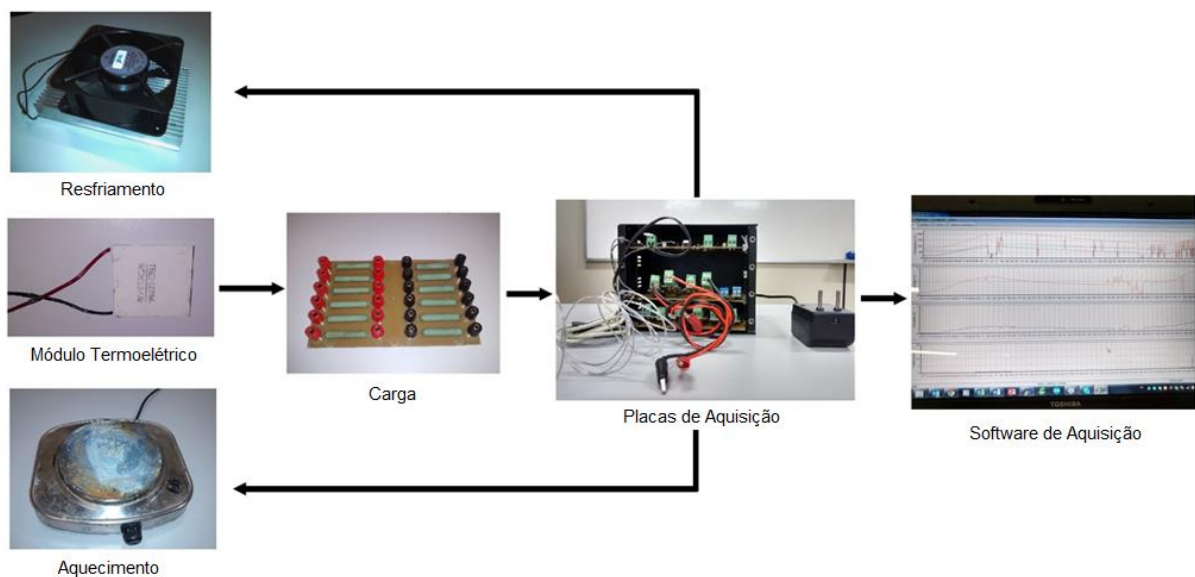


Figura 64 - Diagrama em blocos do teste de bancada realizado

De acordo com a figura 65, que mostra a aplicação do experimento através da interligação de todos os elementos afim de gerar uma curva da tensão gerada pelo módulo termoeétrico conforme o gradiente de temperatura, os dados gerados pelo sistema de aquisição bem com as curvas geradas foram baseados nos experimentos realizados em [46,47,48].

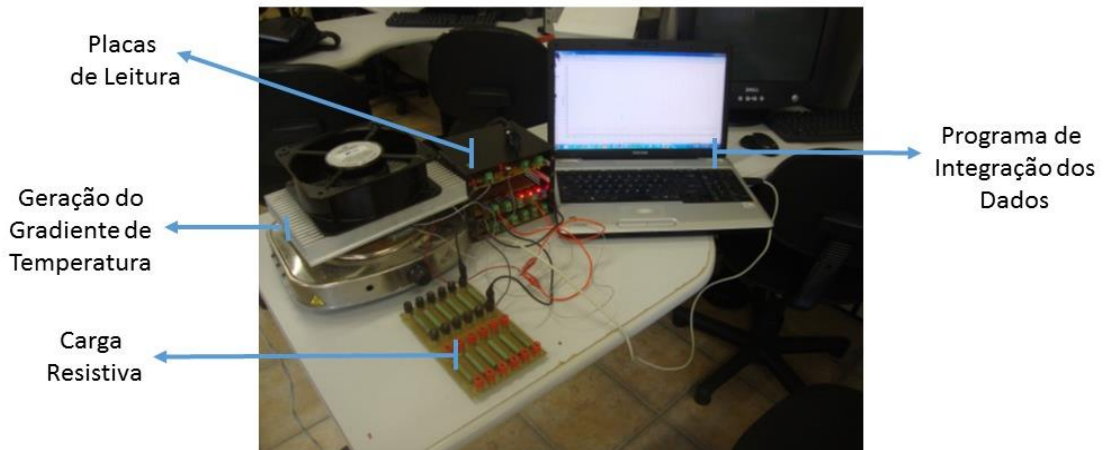


Figura 65 - Estrutura do teste

Após a montagem de toda a estrutura, instalação dos sensores de temperatura na fonte fria e na fonte quente, o sistema foi alimentado, e, a através do programa de aquisição de dados instalado no computador o teste foi iniciado, gerando os gráficos demonstrado na figura 61 para a temperatura, indicado como temperatura do lado quente (T_q), temperatura do lado frio (T_f) e gradiente de temperatura (ΔT) como também citado em [55,56]. O ensaio foi realizado até o gradiente atingir cerca de 150°C , como descrito no gráfico da figura 66, onde a temperatura do lado quente atingiu 250°C e do lado frio cerca de 100°C .

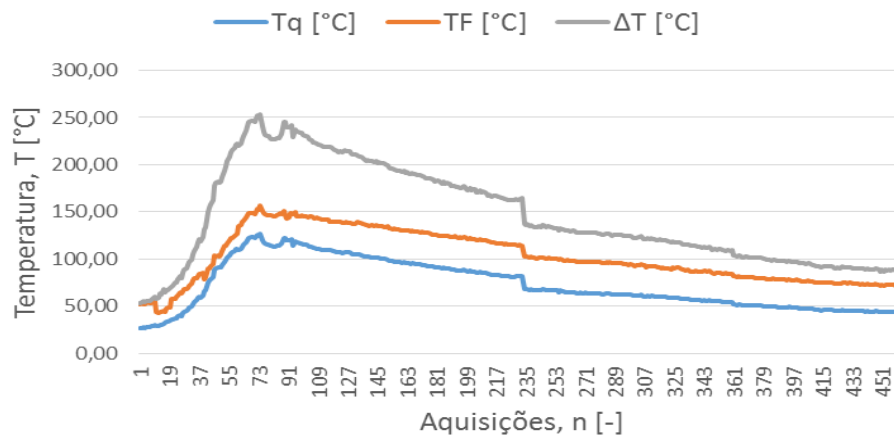


Figura 66 - Ensaio de bancada para temperatura T_q [°C] x T_f [°C] x ΔT [°C] x Amostras [-]

Já na figura 67 é demonstrada a tensão elétrica gerada com uma carga de 10Ω ligada na saída de um módulo termoelétrico, alcançando em torno de 2V com o máximo gradiente de temperatura.

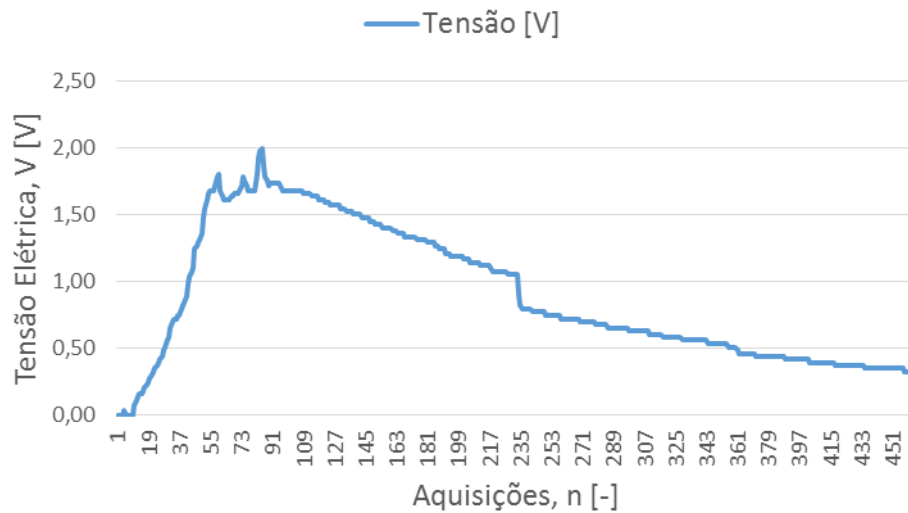


Figura 67 - Ensaio de bancada para tensão. Tensão[V] versus o número de Aquisições [-]

A figura 68, demonstra a corrente elétrica gerada, que chegou ao pico máximo de 20mA durante o ensaio.

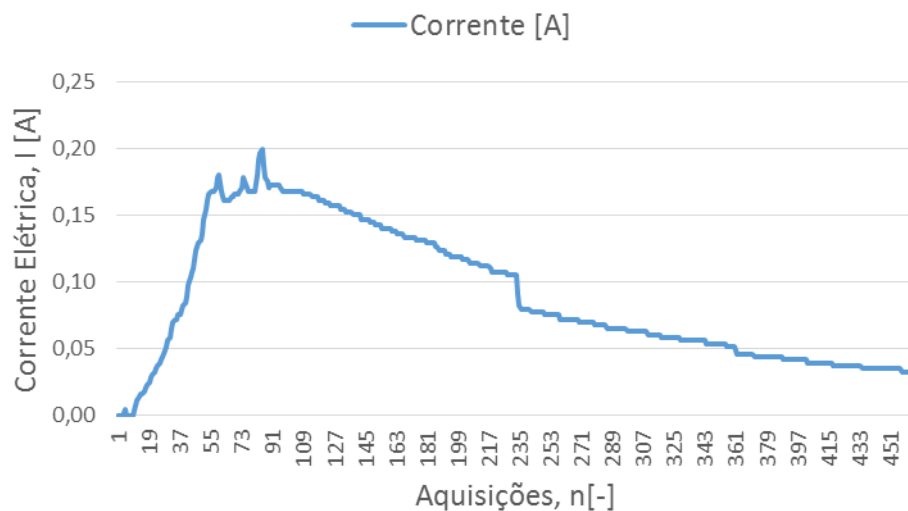


Figura 68 - Ensaio de bancada para corrente. Corrente[A] versus o número de Aquisições [-]

E, por fim a potência elétrica gerada pelo módulo, que chegou a cerca de 400mW no ensaio teste realizado de acordo com a figura 69.

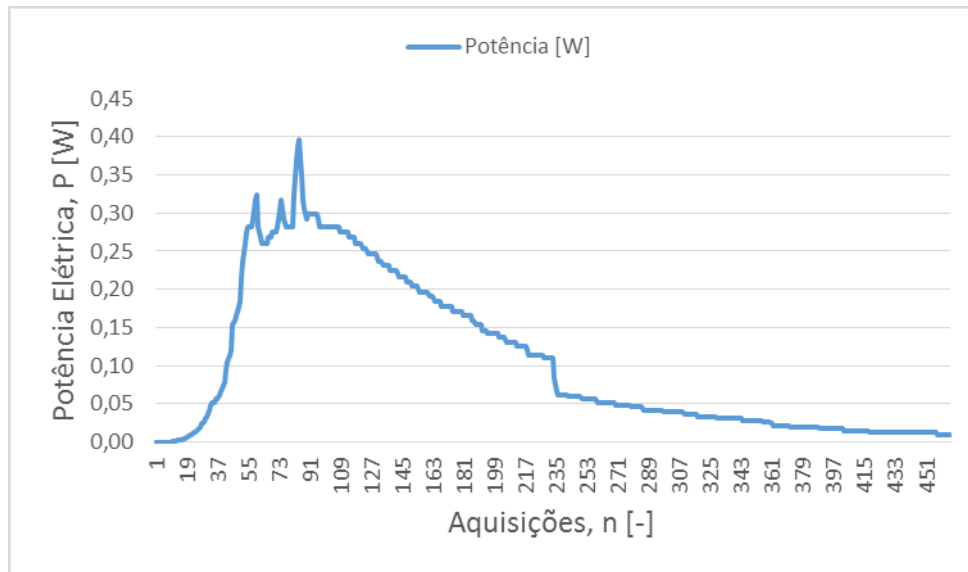


Figura 69 - Ensaio de bancada para potência. Potência [W] x o número de Aquisições [-]

4.1 Comparativo do Desempenho com Outras Tecnologias de Bancadas

A bancada didática possui como principais características os sistemas térmicos para geração do gradiente de temperatura, o sistema eletrônico de sensoriamento e tratamento dos sinais envolvidos no processo e um sistema computacional de integração dos valores lidos.

Como base do sistema térmico utilizou-se um fogão elétrico com controle de temperatura para o aquecimento e dissipadores de calor e ventilação forçada para manter a temperatura do lado frio, com base de [52, 53,56] onde conseguiu-se manter a temperatura de forma a geração de gradientes de 10 a 80°C de temperatura para a realização dos ensaios e geração de curvas térmicas e elétricas.

A geração do gradiente de temperatura demonstrada em [55] e [57] através de fluido refrigerante é outro método eficiente para se manter a temperatura, principalmente da face fria, estável, o que poderá gerar maior gradientes de temperatura para outros testes.

A bancada didática de modo geral, se comparado a [52], mostrou-se mais eficiente na demonstração dos dados, pois mostra de forma gráfica via um computador os dados no momento da aquisição, e, por consequência o salvamento das informações para análise e geração de relatórios das atividades, que no sistema pesquisado, mostra apenas via instrumentos analógicos.

Já em relação ao *hardware* utilizado em [53] e [56], onde foram utilizados placas universais de aquisição de dados, o sistema desenvolvido por este projeto, revelou-se eficiente na comparação das informações gráficas, principalmente com as curvas demonstradas em [56] e [57].

A relação de custo financeiro das placas universais utilizadas em [53], [56] e o sistema SCADA utilizado em [46] em relação ao desta dissertação, é menos da metade do valor. Implicando em um baixo custo de desenvolvimento de *hardware*, e, considerando que o *software* será distribuído de forma gratuita. A maior diferença fica que estes sistemas possuem uma taxa de aquisição dos dados em maior velocidade.

Já o desenvolvimento demonstrado em [54] e [57] denotam o interfaceamento com o usuário a distância, onde remotamente os dados poderão ser adquiridos salvos e demonstrados, o que não foi realizado nesta dissertação, mas que pode ser implementado em outros trabalhos.

4.2 Experimentos práticos aplicados ao ensino em ciência e tecnologia

Após os testes para avaliar a confiabilidade funcional e operacional da bancada, uma atividade prática foi desenvolvida e aplicada afim de se obter os resultados com os acadêmicos de curso de Engenharia Mecatrônica e Tecnologia em Automação Industrial da Faculdade SATC. A aula prática foi realizada com o objetivo de verificar fragilidades e possíveis situações adversas na utilização do equipamento, bem como ajudar tanto os acadêmicos quanto aos professores na transferência do conhecimento durante as aulas. O roteiro utilizado na aula prática pode ser observado no apêndice A.

Deste modo para que seja obtido um *feedback* dos alunos após a utilização da bancada, uma pesquisa quantitativa foi aplicada através do questionário do Apêndice B, que tem por objetivo avaliar o funcionamento, métodos de ligação, facilidade de utilização do equipamento e do sistema de aquisição computacional, baseado em [69].

A pesquisa foi realizada com uma população de 20 alunos que utilizaram a bancada aplicando o roteiro de aula prática do apêndice A.

Cada pergunta foi respondida de forma objetiva, com notas de 1 a 5, onde, 1(um) indica para fraco, 2 (dois) para regular, 3 (três) para bom, 4 (quatro) para muito bom e 5 (cinco) para excelente.

O primeiro questionamento realizado foi "Ao utilizar a bancada como ferramenta didática, foi possível verificar e entender os fenômenos termoelétricos aliando a teoria com a prática?". Conforme a figura 70, 17 dos acadêmicos responderam de bom a excelente, o que equivale a 80% das respostas.

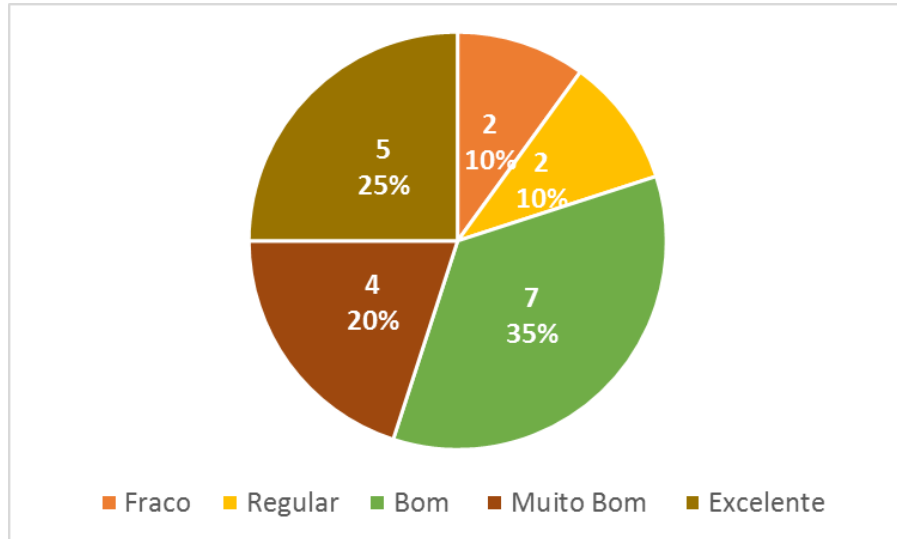


Figura 70 - Respostas em relação ao primeiro questionamento

O questionamento número 2 foi: "Identifique a utilização do software quanto a facilidade de configuração, utilização e ferramentas", também 80% das respostas assinalou que o programa de computador apresenta facilidade na interação com o usuário, de acordo com a figura 71

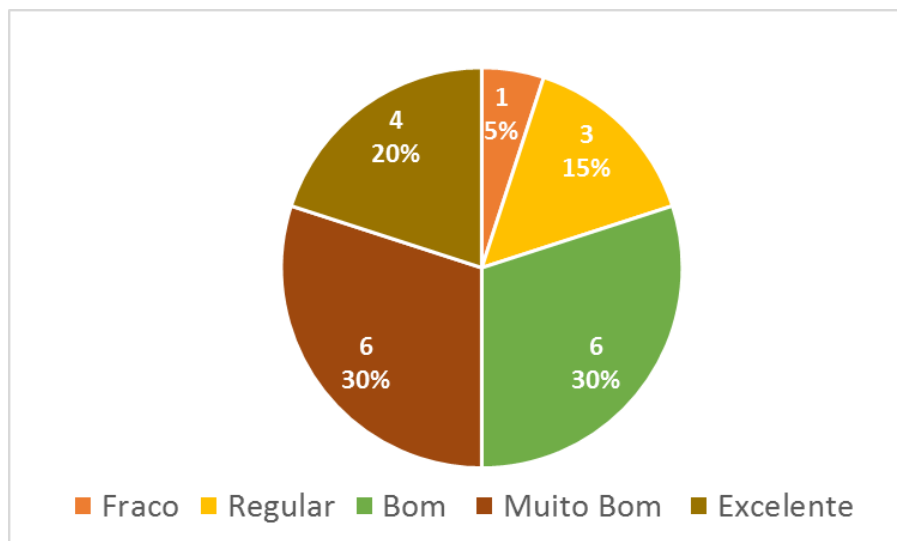


Figura 71 - Resposta em relação ao segundo questionamento

Já para a pergunta 3, que compara a montagem da estrutura com outros meios, “Em relação a montagem e execução das tarefas, houve um maior ganho de tempo se comparado a outros meios como utilização de multímetros para as medições? ”, apenas 2 acadêmicos assinalaram como regular, o restante, 90% assinalou como positiva a utilização do método de aquisição em questão, conforme a figura 72.

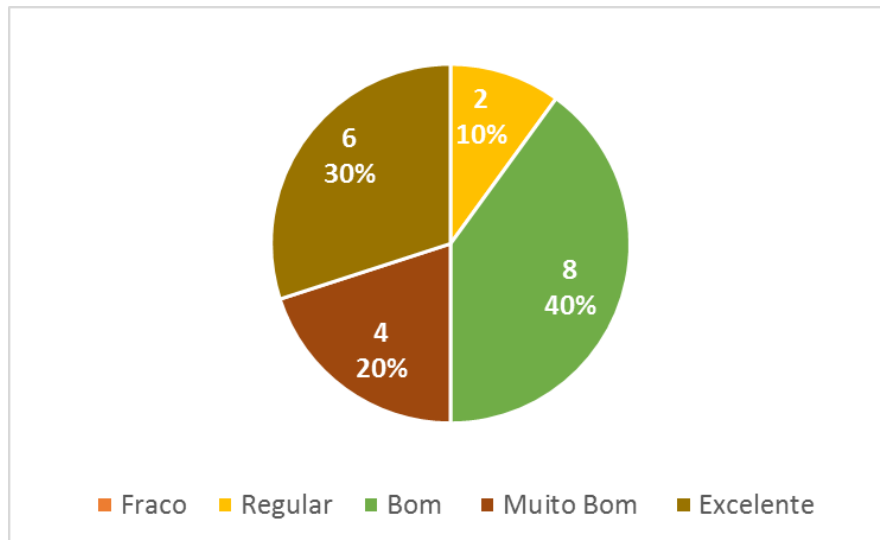


Figura 72 - Resposta em relação ao terceiro questionamento

Na questão de número 4, “A geração dos gráficos animados facilitou a obtenção dos resultados da aula prática?”, os acadêmicos assinalaram também mais de 60% (14 alunos) assinalaram entre bom e excelente, conforme a figura 73.

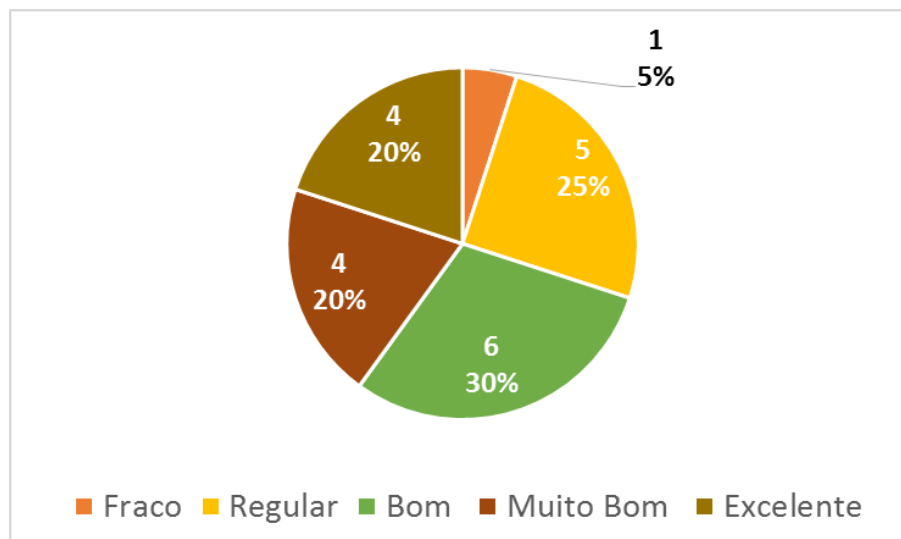


Figura 73 - Resposta em relação ao quarto questionamento

E no último questionamento, “O armazenamento e leitura das informações foi satisfatório para obtenção dos resultados de leitura dos módulos?”, indicou a totalidade dos acadêmicos de nota entre bom e excelente, conforme a figura 74.

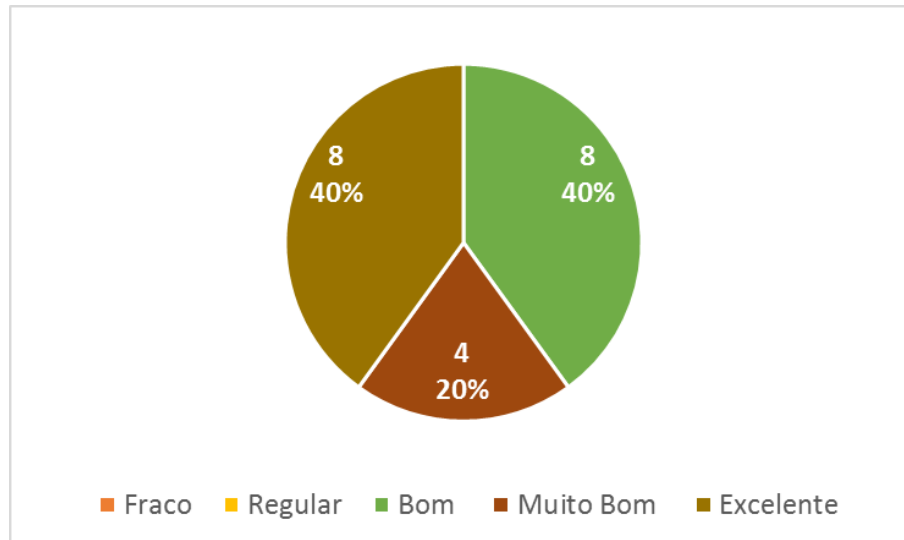


Figura 74 - Resposta em relação ao quinto questionamento

Com esta avaliação foi possível verificar via os acadêmicos que na grande maioria das questões levantadas após o desenvolvimento da aula prática foram obtidos resultados positivos, ou seja, a bancada se torna válida como ferramenta de utilização para maior conhecimento de materiais termoelétricos.

4.3 Experimento para Caracterização de TEG

A bancada desenvolvida foi utilizada para ensaios para levantamento de dados para caracterização de TEGs, este ensaio consiste em determinar os vários parâmetros associados a geração termoelétrica, como o gradiente de temperatura, tensão, corrente e potências geradas, de forma a efetuar o levantamento de sua curva característica sob diversas condições de temperatura como realizado em [56].

Com isso foi possível efetuar o levantamento destas curvas, sob diversas condições de temperatura utilizando dois TEGs em série modelo inbC1-127.08HTS da Thermoelectric Power Generation conectados em série. O gráfico da figura 75 mostra o ensaio de circuito aberto relacionando a tensão de saída em aberto para vários gradientes de temperatura.

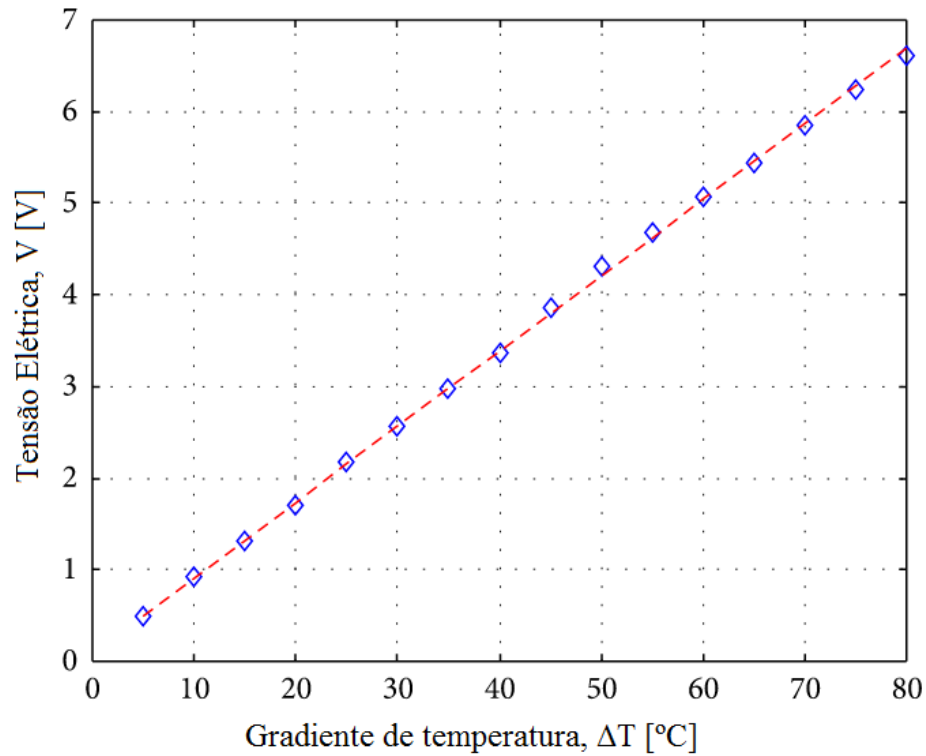


Figura 75 - Relação entre gradientes de temperatura [°C] x tensão de saída [V] para circuito aberto

Outros ensaios foram realizados com carga com o objetivo da obtenção dos dados anteriormente descritos, como a potência e tensão de saída de acordo com diversos gradientes de temperatura, como demonstrado na figura 76 e aplicados também em [57].

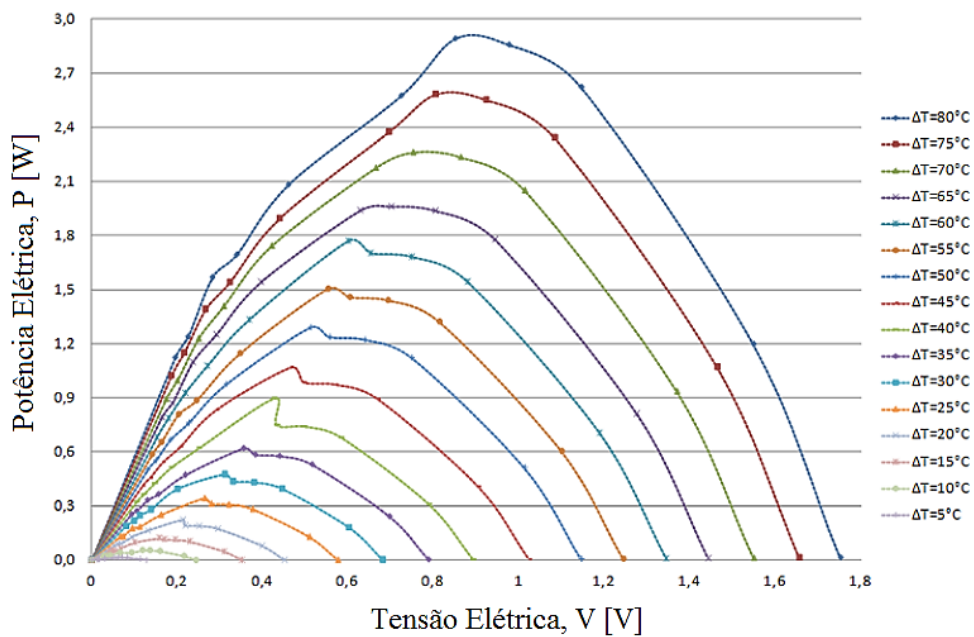


Figura 76 - Ensaio sob carga da potência de saída [W] pela tensão de saída em [V] para diversas condições de gradiente de temperatura [°C]

Com base nos dados adquiridos pela bancada dos dois módulos inbC1-127.08HTS da Thermoelectric Power Generation conectados em série é capaz de suprir uma potência de saída ($P_{saída} = 2,894W$) fornecendo uma corrente de saída ($I_{saída} = 850,55mA$) e uma tensão de saída ($V_{saída} = 3,402V$). A resistência de carga de $3,99\Omega$ ($V_{saída}/I_{saída}$) também está de acordo com as medições, pois está localizado no intervalo $[\mu-\sigma, \mu+\sigma]\Omega$, onde $R_0 = 3,77\Omega$ e $\sigma = \Delta R_{int} = 0,31\Omega$, demonstrando coerência aos dados obtidos em [17, 47].

4.4 Custos para Construção da Bancada Didática

Com a finalidade de comparar os custos do projeto com sistemas de aquisição já existentes no mercado que tem sua utilização mais genérica, serão levantados os dados de custo total para a fabricação da bancada.

Considerando que os custos de desenvolvimento serão nulos, pois uma vez projetados o *hardware* e o *software*, estes poderão ser replicados e distribuídos gratuitamente quantas vezes forem necessários para qualquer instituição de ensino que desejar construir a bancada.

A tabela 6 mostra o custo total do equipamento eletrônico com todos os elementos que serão desenvolvidos para a construção da bancada.

Tabela 6 - Custo dos equipamentos

Custos da Bancada Didática		
Sistema de Aquecimento	R\$	65,00
Dissipador de Calor Alumínio	R\$	70,00
Módulo de Resistores	R\$	25,00
Ventilador de Resfriamento	R\$	80,00
Placa de Temperatura	R\$	80,00
Placa de Tensão e Corrente	R\$	30,00
Placa de Potência	R\$	30,00
Cabos e Fixação	R\$	50,00
Caixa Metálica	R\$	50,00
Termopares	R\$	65,00
Total	R\$	545,00

A tabela 7 mostra as características gerais do equipamento após seus testes e utilizações práticas realizadas.

Tabela 7 - Especificação do equipamento

<i>Parâmetro</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>
Alimentação Eletrônica	12	Vcc
Alimentação de Potência	220	Vca
Canais de Temperatura	6	-
Erro Máximo de Temperatura	±2,5	%
Temperatura Máxima	400	°C
Canais de Tensão	3	-
Erro Máximo de Tensão	±2,5	°C
Tensão Máxima por Canal	24	Vcc
Canais de Corrente	3	-
Erro Máximo de Corrente	±1,5	°C
Corrente Máxima por Canal	5	A
Taxa de Comunicação	19200	Bps
Tipo de Comunicação	Serial	-

5. CONCLUSÃO

A utilização de experimentos didáticos no processo de ensino/aprendizagem é de fundamental importância para a construção do conhecimento, de forma a demonstrar e comprovar as teorias anteriormente repassadas pelos professores em sala de aula.

Estes experimentos quando aplicados elevam o grau de conhecimento do aluno, pois de forma prática, é possível verificar parâmetros não percebidos em muitos casos, e, desta forma conseguir difundir conhecimentos e divulgar a ciência e tecnologia em diversas áreas do conhecimento.

Logo o projeto em questão obteve êxito em sua utilização em sala de aula como ferramenta de ensino. Segundo a avaliação dos acadêmicos, a grande maioria conseguiu assimilar a teoria com a prática, e utilizar a bancada de forma eficiente. Demonstrando que a montagem física dos elementos de geração de gradiente, integração com sensores e ambiente visual amigável facilitaram no andamento da aula prática.

As curvas de desempenho dos módulos geradas também foram uma contribuição científica do projeto, onde foi possível demonstrar a eficiência de módulos termoeletrônicos em vários gradientes de temperatura, sendo possível a comparação de dados de fabricantes com dados reais, e desta forma, cooperando a especificação dos módulos conforme a aplicação.

Outro ponto importante da realização deste trabalho foi o custo aliado ao desenvolvimento das estruturas, em torno de R\$500,00, se comparado a outros sistemas de aquisição integrados, onde a união de *hardware* e *software* pode ultrapassar facilmente 10 vezes este valor.

Logo, a distribuição gratuita de todos os esquemas eletrônicos e do programa de computador, permitem a replicação da bancada para utilização ou até mesmo melhoria em instituições de ensino com um baixo custo, desta forma difundindo o conhecimento da termoeletricidade.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos na realização deste trabalho, algumas alternativas para a continuidade do projeto podem ser realizadas de forma a incrementá-lo.

Na conjuntura atual da educação é comum a realização de experimento remotos, de forma que o aluno possa, através de um ambiente virtual de aprendizagem realizar o experimento em horários pré-determinados, não necessitando estar presente para esta realização.

Desta forma, é possível, através da inserção no *software* de totalização de dados ferramentas *web* permitindo a experimentação em um ambiente virtual de aprendizagem, e assim, isto ser utilizado por um maior número de pessoas possíveis sem a construção física da bancada, apenas utilizando uma delas como ferramenta virtual.

Outra questão que pode ser realizada no próprio *software* de totalização, é a geração automática dos resultados, com montagem das curvas e gráficos de desempenho com pré set de temperatura, que atualmente é realizada por editores de planilha eletrônica após os dados adquiridos.

REFERÊNCIAS

- [1] ANDO JUNIOR, Oswaldo Hideo; HAFFNER, Jacqueline A. H.. **O setor elétrico como ferramenta estratégica de gestão governamental**. Caesura: Revista Crítica de Ciências Sociais e Humanas, Canoas, v. 34, p.121-142, jun. 2009.
- [2] VARGAS, Almeida, OLIVARES, M.A.; CAMACHO, P. **Thermoelectric System in Different Thermal and Electrical Configurations: Its Impact in the Figure of Merit**. Entropy, v. 15, p. 2162-2180, 2013.
- [3] PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: breve conceito**. Revista Conjuntura e Planejamento. n. 149, p. 4-11, Salvador: SEI, 2006.
- [4] CASTRO, M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução a energia eólica**. 1ª Edição, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: 2009.
- [5] BERMANN, Célio. **Crise Ambiental e Energias Renováveis**. Ciência e Cultura. Vol. 60, n. 3, São Paulo: 2008
- [6] ATTIA, Peter M., LEWIS, Matthew R., et. al. **Experimental studies of thermoelectric power generation in dynamic temperature environments**. Energy: Elsevier Science, v.60, p. 453-456, 2013.
- [7] GOMEZ, Miguel; REID, Rachel; OHARA, Brandon; LEE, Hohyun. **Influence of electrical current variance and thermal resistances on optimum working conditions and geometry for thermoelectric energy harvesting**. Journal of Applied Physics , v.113, n.17, p. 1-6, 2013
- [8] POLOZINE, A.; SIROTINSKAYA, S.; SCHAEFFER, L.. **History of Development of Thermoelectric Materials for Electric Power Generation and Criteria of their Quality**. Materials Research. v.17, n. 5, pg 1260-1267, 2014.
- [9] FILHO, Altino Ventura. **Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas**. Revista Interesse Nacional. Ano 6. Número 21, 2013.
- [10] CAMACHO-Medina P, OLIVARES-Robles MA, VARGAS-Almeida A, SOLORIO-Ordaz F. **Maximum Power of Thermally and Electrically Coupled Thermoelectric Generators**. Entropy. n. 16, p. 2890-2903, 2014.
- [11] ROMANI, Rubens. **Aplicações de efeitos termoelétricos na indústria aeronáutica**. Anais do 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. p. 8-17, Cusco, 2007.
- [12] MAHARAJ, S.; GOVENDER, P., **Waste energy harvesting with a thermoelectric generator**. Domestic Use of Energy Conference (DUE), 2013 Proceedings of the 21st, p.1-6, 2013.

- [13] DEWEY, J.. **Democracy and Education: An introduction to the philosophy of education**. New York: Free Press, 1916.
- [14] KILPATRICK, W. H.. **The project method**. Teachers College Record, Vol. 19, No. 4, pp.319- 335, 1918.
- [15] KILPATRICK, W. H. **Dangers and difficulties of the project method and how to overcome them: Introductory statement: Definition of terms**. Teachers College Record, Vol. 22, No. 4, pp.283-287, 1921
- [16] RONCARELLI, D. **ÁGORA: Concepção e organização de uma taxionomia para análise e avaliação de Objetos Digitais de Ensino-Aprendizagem**. Tese de doutorado. UFSC, Florianópolis, 288p, 2012.
- [17] KNOLL, M.. **The project method: Its vocational education origin and international development**. *Journal of Industrial Teacher Education*, 34(3), 59-80, 1997.
- [18] DEFILLIPPI, R. J. (). **Introduction: Project-Based Learning, Reflective Practices and Learning**. *Management Learning*, n. 32, pp. 5-10, 2001.
- [19] VALENTE, José Armando. **O computador na sociedade do conhecimento**. Editora Nied, UNICAMP, 142 p., 1999.
- [20] MORAES, Maria Cândida. **Informática Educativa no Brasil: Uma História Viva, Algumas Lições Aprendidas**. Disponível em: <<http://edutec.net/textos/alia/misc/edmcand1.htm>>. Acesso em 22/07/2010.
- [21] PRIETO, L. M. et al. **Uso das Tecnologias Digitais em Atividades Didáticas nas Séries Iniciais**. *Renote: Revista novas tecnologias na educação*, Rio Grande do Sul, v. 3, n. 1, p. 1-11. 2005.
- [22] JUNIIOR, Oswaldo Hideo Ando. **Protótipo de um Micro Gerador Termoelétrico para Captação de Energias Residuais Baseado no Efeito Seebeck com Sistema de Transferência de Calor Intercambiável**. Tese de Doutorado. PPGE3M. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 166 p. 2014.
- [23] MAESTRELLI, E. ; SPACEK, A. D. ; ANDO JUNIOR, O. H. ; MOTA NETO, J. ; IZIDORO, C. L. ; SCHAEFFER, L. **Desenvolvimento do protótipo de um sistema de condicionamento de ar utilizando módulos termelétricos**. In: Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis - 3ª RenoMat, Porto Alegre, 2013.
- [24] VELMRE, Enn. **Thomas Johann Seebeck (1770–1831)**. *Estonian Academy Science and Engineering*, v. 13, n 4, p. 276–282, 2007.
- [25] Riffat, S.B.; MA, Xiaoli. **Thermoelectrics: a review of present and potential applications**. *Applied Thermal Energy*, p. 913-935, n. 8, 2003.
- [26] ROWE, D.M. **CRC Handbook of Thermoelectrics**. 701 p. Editora CRC Press: 1995.

- [27] SNYDER, G. Jeffrey. **Small Thermoelectric Generators**. The Electrochemical Society Interface, .v. 17, no. 3, p.54-56, 2008.
- [28] MOURA, José Américo De Sousa. **Filmes Nanométricos de Fen E Aln Crescidos Por Sputtering E Aplicações do Efeito Peltier**. 140 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 2010.
- [29] ANTUNES, Joaquim Adérito Araújo. **Reaproveitamento de Calor para Geração de Energia Elétrica no Automóvel**. 155 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Do Minho, Braga, 2011.
- [30] LE BRETON, Jean-Christophe, SHARMA, Sandeep, SAITO, Hidekazu, YUASA, Shinji, JANSEN, Ron. **Thermal spin current from a ferromagnet to silicon by Seebeck spin tunneling**. Nature. v. 475, p.82–85, 2011.
- [31] J. FLIPSE, F. K. DEJENE, D. WAGENAAR, G. E.W. BAUER, J. BEN YOUSSEF, and B. J. VAN WEES. **Observation of the Spin Peltier Effect for Magnetic Insulators**. Physical Review Letters. v.113, p. 1-4. 2014
- [32] UCHIDA, Ken-ichi KIKKAWA, Takashi, MUIRA, Asuka, SHIOMI, Junichiro, SAITOH, Eiji. **Quantitative Temperature Dependence of Longitudinal Spin Seebeck Effect at High Temperatures**. Physical Review. v.4 , n. 4, 2014.
- [33] KIRIHARA, Akihiro, UCHIDA, Ken-ichi, KAJIWARA, Yosuke, ISHIDA, Masahiko, YASUNOBU, Nakamura. MANAKO, Takashi, SAITOH, Eiji and YOROZU, Shinichi. **Spin-current-driven thermoelectric coating**. Nature Materials. v. 11. p. 686-689. Agosto 2012.
- [34] J. FLIPSE, F. L. BAKKER, A. SLACHTER, F. K. DEJENE, and B. J. VAN WEES, **Direct Observation of the Spin-Dependent Peltier Effect**, Nature Nanotech. v. 7, p. 166-168, 2012.
- [35] M. Hamid Elsheikh et al. **A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance**. Renewable and Sustainable Energy Reviews v. 30. p. 337–355, 2014.
- [36] NOLAS, G.S., SHARP, J. GOLDSMID, H.H., **Thermoelectrics: basic principles and new materials developments**. Springer Science & Business Media: 2001.
- [37] CHEN et al. **Recent developments in thermoelectric materials**. International Materials Reviews, v. 48, n. 1 . p.45-66, 2003.
- [38] ZHANG, X. Zhang, ZHAO, L.-D. Zhao. **Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity**. v. 1, n.2 Journal of Materiomics. p.1-14. 2015
- [39] National Instruments. **Working with Thermistors and RTDs**. Disponível em <<http://www.ni.com/tutorial/2948/en/>>. Acesso em 25/02/2015.

- [40] SOUSA, Rui Manuel Abreu. **Gerador Termoelétrico para Escape do Automóvel com Controle de Temperatura**. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Do Minho, Braga, 2011.
- [41] FERREIRA, E. **Sensores e condicionamento de sinais**. Campinas: Departamento de Eletrônica e Microeletrônica – Demic, 2009.
- [42] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medidas: volume 1**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC: 2006.
- [43] Moreira, Lúcia. **Medição de temperatura usando-se termopar**. Revista Cerâmica Industrial. v. 7, n. 5-6, p. 51-53, 2002.
- [44] Pirométrica. **Termopares**. Disponível em <http://www.pirometrica.com.br/paginas/produtos/termopar/termopares.html>. Acesso em 05/03/2013.
- [45] FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 1.ed. Editora Érica. São Paulo: 2005.
- [46] NASA. **Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator**. Space Radioisotope Power Systems, 2006.
- [47] HUANG, James. **Aerospace and Aircraft Thermoelectric Applications**. Boeing Management Company, 2009.
- [48] STABLER, Francis. **Automotive Thermoelectric Generator Design Issues**. Future Tech LLC DOE. III Thermoelectric Applications Workshop - San Diego, CA. 2012.
- [49] STABLES, Francis. **Automotive Thermoelectric Generator (TEG) Controls**. DOE Thermoelectric Workshop Baltimore, MD. Março 2012.
- [50] MENG, F. et al. **Thermoelectric power generation driven by blast furnace slag flushing water**. Energy. N. 66. p. 965-972. 2014.
- [51] R.Y. Nuwayhid et al. **Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling**. Energy Conversion and Management, n. 9-10, p. 1631–1643, 2005.
- [52] BOBEAN, Crina; PAVEL, Valentina; et al. **Didactical stand for the study of thermoelectric generators**. Buletin AGIR v. 3, p. 243-248, 2012.
- [53] GOULD, C.A.; SHAMMAS, N.Y.A.; GRAINGER, S.; TAYLOR, I. **Thermoelectric Technology: Micro-electrical and Power Generation Properties**. Universities Power Engineering Conference, 2008. UPEC 2008. 43rd International, p. 1-5, 2008.
- [54] ARAÚJO, Tomás VGP, A. S. Carlos FILHO. **Plataforma de estudo para aplicações de controle inteligente e sistemas embarcados**. VII SBAI/II IEEE LARS. São Luís, setembro de 2005.

- [55] AHISKA, Rasit. MAMUR, Hayati. **A test system and supervisory control and data acquisition application with programmable logic controller for thermoelectric generators.** *Energy conversion and Management*. v. 64. p.15-22, Dec, 2012.
- [56] CARMO, J.P. ANTUNES, Joaquim. SILVA, M.F., Ribeiro, ET. AL. **Characterization of thermoelectric generators by measuring the load-dependence behavior.** *Measurement*. v. 44, p. 2194-2199, 2011.
- [57] CHENA, Wei-Hsin, LIAO, Chen-Yeh, et. al. **Experimental study on thermoelectric modules for power generation at various operating conditions.** *Energy*. v 45, p. 874-881, 2012.
- [58] PEREIRA, R. I. S., CARVALHO P. C. M., JUCÁ S. C. S. **WiFi Data Acquisition System and online monitoring applied to thermoelectric microgeneration modules.** *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)*. N. 13, p. 370-373. 2015.
- [59] BATES, Martin. **PIC Microcontroller: an introduction to microelectronics.** Editora Newnes. 2 ed. Inglaterra: 2004.
- [60] MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados: Uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84.** 1 ed. Novatec Editora. São Paulo: 2005.
- [61] SOUZA, David José de. **Desbravando o PIC.** Ed. 2. Editora Érica. São Paulo: 2003.
- [62] OLIVEIRA, André Schneider de. ANDRADE, Fernando Souza de. **Sistemas Embarcados: hardware e firmware na prática.** Editora Novatec. São Paulo: 2005
- [63] SILVEIRA, João Alexandre da. **Experimentos com Arduino.** 1 ed. Editora Ensino Profissional. São Paulo. 200 p., 2011.
- [64] Microchip Semiconductor. **Datasheet PIC16F877A.** Microchip Technology: 2004.
- [65] ALLEGRO Microsystems Inc. **Data sheet ACS712.** ST Microelectronics Group of Companies, 1999.
- [66] Maxim Semiconductor, Datasheet. **MAX31855 Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter.** Maxim Semiconductor: 2012.
- [67] SPERANDIO, João T. Mendes. MENDES, João T., Et. Al. **Características matemáticas e computacionais dos métodos numéricos.** 1 ed. Prentice-Hall. São Paulo: 2003.
- [68] ASANO, Claudio Hirofume. COLLI, Eduardo. **Cálculo Numérico — Fundamentos e Aplicações.** Departamento de Matemática Aplicada IME-USP. 248p., 2009.
- [69] CHAER, G., PEREIRA, R.R., RIBEIRO, E.A. **A técnica do questionário na pesquisa educacional.** *Revista Evidência*, Araxá, v. 7, n. 7, p. 251-266, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário aplicado aos acadêmicos

Questionário

Objetivo: avaliar a utilização da bancada didática para análise de materiais termoelétricos

Marque as opção com um “X” para notas de 1 a 5 em cada um dos questionamentos, onde:

1 – Fraco; 2 – Regular; 3 – Bom; 4 – Muito bom; 5 – Excelente.

Pergunta	1	2	3	4	5
Ao utilizar a bancada como ferramenta didática, foi possível verificar e entender os fenômenos termoelétricos aliando a teoria com a prática?					
Identifique a utilização do software quanto a facilidade de configuração, utilização e ferramentas.					
Em relação a montagem e execução das tarefas, houve um maior ganho de tempo se comparado a outros meios como utilização de multímetros para as medições?					
A geração dos gráficos animados facilitou a obtenção dos resultados da aula prática?					
O armazenamento e leitura das informações foi satisfatório para obtenção dos resultados de leitura dos módulos?					

APÊNDICE B – Atividade Prática Aplicada

**FACULDADE SATC****Curso: Engenharia Mecatrônica / Ano / Fase: 2º - 4ª / 2014****Tecnologia em Automação Industrial****Disciplina: Instrumentação e Medidas Elétricas****Professor: Cleber Lourenço Izidoro****Roteiro de Aula Prática**

Título: utilização de instrumentos de medição para estudo e análise de materiais termoeletrônico.

Objetivos: consolidar o conhecimento no estudo de materiais termoeletrônicos;
Utilizar bancada didática obtenção de dados com sensores.

Conteúdos envolvidos: cogeração de energia, instrumentação e aquisição de dados, ensaios e calibração.

Equipe:

Descrição da Atividade: Esta aula prática se desenvolverá através da montagem de um *setup* para medição de sinais de temperatura, tensão, corrente e potência elétrica utilizando uma bancada didática e um sistema de aquisição de sinais computacionais, com o principal objetivo de mensurar a cogeração de energia com materiais termoeletrônicos, buscando desta forma aprimorar o conhecimento nesta tecnologia.

Roteiro de montagem dos periféricos.

1 – Efetue a montagem do sistema de aquecimento e resfriamento da seguinte maneira: termoresistencia, placa de alumínio, módulos termoeletrônicos, placa de alumínio, dissipador de calor e ventilador de resfriamento;

- 2 – Insira os termopares nos furos das placas de alumínio nos pontos superiores e inferiores;
- 3 – Efetue a ligação do módulo termoeletrico as cargas (utilize um resistor de 10Ω);
- 4 – Em paralelo ao resistor efetue a ligação da medição de tensão elétrica;
- 5 – Em série do módulo ao resistor efetue a ligação da medição de corrente elétrica;
- 6 – Ligue o cabo USB ao computador;
- 7 – Alimente o sistema de aquisição;

Roteiro de configuração do software.

- 1 – Clique em Arquivo -> Novo e coloque um nome ao arquivo e pressione OK.
- 2 – Clique no menu Configurar -> Porta e indique qual a porta de comunicação que será utilizada.
- 3 - Clique no menu Configurar -> Configs. Gerais e indique o valor do delta, utilize primeiramente 30°C .
- 4 – Pressione Aquisição->Iniciar

Após acompanhe os testes graficamente para observar o comportamento das curvas geradas conforme o aquecimento é realizado.

Efetue alterações no valor de delta para verificar o comportamento.

Materiais utilizados: descreva aqui quais foram os materiais utilizados na atividade prática.

Análise dos resultados: descreva sua análise detalhada sobre o procedimento realizado aplicando o consenso entre a teoria e a prática.

APÊNDICE C – Programa do microcontrolador para leitura de temperatura

```

#include <16F452.h>
#device adc=10

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //Crystal osc <= 4mhz
#FUSES PUT             //Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG         //No Debug mode FOR ICD
#FUSES BROWNOUT        //Reset when brownout detected
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
B5(PIC18) used FOR I/O
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

//chip select dos max31855
#define CS1 PIN_A0
#define CS2 PIN_A1
#define CS3 PIN_A2
#define CS4 PIN_A3
#define CS5 PIN_A5
#define CS6 PIN_E0

//Data e clock

#define MAX_DO PIN_C4
#define MAX_CLK PIN_C3

//variaveis
int1 aux=0;
int8 x=0,y=0,w=0,z=0;
int8 cont=0,tempo=0;
int1 pular=0;
char lido[32];
float temperatura=0;
char envia[7];
int16 value=0;

int16 read_temp() ;

#INT_RTCC

void RTCC_isr(VOID)
{
    ++tempo;

    IF (tempo == 40)
    {
        output_high (pin_d4);
    }

    IF (tempo == 80)
    {
        output_low (pin_d4);
        tempo = 0;
    }
}

#INT_RDA

void RDA_isr(VOID)
{
    CHAR recebido = 0;

```



```

recebido = getc ();

pular = 0;

IF (recebido == 'A')
    putc ('B') ;

SWITCH (recebido)
{
    CASE 'a': output_low (CS1);
              value = read_temp();
              output_high (CS1);
              BREAK;
    CASE 'b': output_low (CS2);
              value = read_temp();
              output_high (CS2);
              BREAK;
    CASE 'c': output_low (CS3);
              value = read_temp();
              output_high (CS3);
              BREAK;
    CASE 'd': output_low (CS4);
              value = read_temp();
              output_high (CS4);
              BREAK;
    CASE 'e': output_low (CS5);
              value = read_temp();
              output_high (CS5);
              BREAK;
    CASE 'f': output_low (CS6);
              value = read_temp();
              output_high (CS6);
              BREAK;
    DEFAULT:putc (recebido);
            pular = 1;
            BREAK;
}

IF (!pular)
{
    delay_ms (10);
    x = 16;

    WHILE (x)
    {
        --x;
    }

    value = value>>3;
    temperatura = value*0.25;
    sprintf (envia, "%3.2f", temperatura);
    delay_ms (1);
    putc (envia[0]);
    delay_ms (1);
    putc (envia[1]);
    delay_ms (1);
    putc (envia[2]);
    delay_ms (1);
    putc (envia[3]);
    delay_ms (1);
    putc (envia[4]);
    delay_ms (1);
    putc (envia[5]);
    delay_ms (1);
}

```

```

        putc ('#' ) ;
        delay_ms (1);
    }

    ELSE
    pular = 0;
}

int16 read_temp()
{
    BYTE datah, datal=0;
    INT16 data=0;

    delay_cycles(1);
    datah=SPI_READ(0);
    datal=SPI_READ(0);

    IF( bit_test(datal,2))
    {
        bit_set (data, 15);
        RETURN(data);
    }

    data = datah<<8;
    data = data | datal;
    RETURN(data);
}

#zero_ram

void main()
{
    setup_adc_ports (NO_ANALOGS) ;
    setup_adc (ADC_OFF) ;
    setup_psp (PSP_DISABLED) ;
    //setup_spi (SPI_MASTER|SPI_L_TO_H|SPI_CLK_DIV_16);
    setup_timer_0 (RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256) ;
    setup_timer_1 (T1_DISABLED) ;
    setup_timer_2 (T2_DISABLED, 0, 1) ;
    setup_comparator (NC_NC_NC_NC) ;
    setup_vref (FALSE) ;
    enable_interrupts (INT_RDA) ;
    enable_interrupts (INT_RTCC) ;
    enable_interrupts (GLOBAL) ;

    output_low(MAX_CLK);
    output_low(MAX_DO);
    output_low(CS1);
    setup_spi(SPI_MASTER | SPI_L_TO_H | SPI_CLK_DIV_16);
    output_high(CS1);
    output_high (CS2);
    output_high (CS3);
    output_high (CS4);
    output_high (CS5);
    output_high (CS6);
    delay_ms (1000) ;

    WHILE (true)
    {
    }
}

```

APÊNDICE D – Programa do microcontrolador para leitura de tensão e corrente elétrica

```

#include <18F452.h>
#device adc=10

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //Crystal osc <= 4mhz
#FUSES PUT             //Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES BROWNOUT       //Reset when brownout detected
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected

#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

#define aquecimento PIN_C2

int16 analog=0;

float Corrente1=0,Corrente2=0,Corrente3=0;
float Tensao1=0,Tensao2=0,Tensao3=0;

char envia[5];
int32 MediaV1=0,MediaV2=0,MediaV3=0;
int32 MediaI1=0,MediaI2=0,MediaI3=0;
int32 V1=0,V2=0,V3=0;
int32 I1=0,I2=0,I3=0;
int8 cont=0,cont1=0;
int1 rec=0;
float MediaAux=0;
int8 saida=0;

void media_tenso(void);
void media_corrente(void);

#int_RTCC
void RTCC_isr(void)
{
    ++cont;
    ++cont1;
}

#int_RDA
void RDA_isr(void)
{
    rec=1;
    char recebido=0;

    recebido=getc();

    switch (recebido)
    {
        case 'x': output_high(aquecimento);
                break;
        case 'y': output_low(aquecimento);
                break;

        case 'i': MediaV1=(MediaV1/V1);
                Tensao1=(MediaV1*0.00488758);
                Tensao1=(Tensao1*4.8);

                sprintf(envia,"%2.2f",Tensao1);
    }
}

```

```

    putc(envia[0]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[1]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[2]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[3]);
    delay_ms(1);
    putc('@');

    V1=0;
    Tensao1=0;
    MediaV1=0;
    break;

case 'j': MediaV2=(MediaV2/V2);
    Tensao2=(Tensao2*0.00488758);
    Tensao2=(Tensao2*4.8);

    sprintf(envia,"%2.2f",Tensao2);
    putc(envia[0]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[1]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[2]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[3]);
    delay_ms(1);
    putc('@');
    V2=0;
    Tensao2=0;
    MediaV2=0;
    break;

case 'k': MediaV3=(MediaV3/V3);
    Tensao3=(Tensao3*0.00488758);
    Tensao3=(Tensao3*4.8);

    sprintf(envia,"%2.2f",Tensao3);
    putc(envia[0]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[1]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[2]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[3]);
    delay_ms(1);
    putc('@');
    V3=0;
    Tensao3=0;
    MediaV3=0;
    break;

case 'l': MediaI1=(MediaI1/I1);
    Correntel=(MediaI1*0.004887586);
    Correntel=((Correntel-2.5)*10.02);

    if (correntel<0)
        correntel=0.00;
    sprintf(envia,"%2.2f",Correntel);
    putc(envia[0]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[1]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[2]);
    delay_ms(1);
    putc(envia[3]);

```

```

        delay_ms(1);
        putc('T@');
        I1=0;
        MediaI1=0;
        Corrente1=0;
        break;

    case 'm': MediaI2=(MediaI2/I2);
              Corrente2=(MediaI2*0.00488758);
              Corrente2=((Corrente2-2.5)*10.02);
              if (corrente2<0)
                  corrente2=0.00;
              sprintf(envia,"%2.2f",Corrente2);
              putc(envia[0]);
              delay_ms(1);
              putc(envia[1]);
              delay_ms(1);
              putc(envia[2]);
              delay_ms(1);
              putc(envia[3]);
              delay_ms(1);
              putc('T@');

              I2=0;
              Corrente2=0;
              MediaI2=0;
              break;

    case 'n': MediaI3=(MediaI3/I3);
              Corrente3=(MediaI3*0.00488758);
              Corrente3=((Corrente3-2.5)*10.02);

              if (corrente3<0)
                  corrente3=0.00;
              sprintf(envia,"%2.2f",Corrente3);
              putc(envia[0]);
              delay_ms(1);
              putc(envia[1]);
              delay_ms(1);
              putc(envia[2]);
              delay_ms(1);
              putc(envia[3]);
              delay_ms(1);
              putc('T@');
              I3=0;
              Corrente3=0;
              MediaI3=0;
              break;

    default: putc(recebido);
            break;

}
rec=0;
}

void media_tensao(void)
{
    Analog=0;
    set_adc_channel(0);
    delay_us(10);
    Analog=read_adc();
    MediaV1=(MediaV1+Analog);
    ++V1;

    Analog=0;
    set_adc_channel(1);

```

```

    delay_us(10);
    Analog=read_adc();
    MediaV2=(MediaV2+Analog);
    ++V2;

    Analog=0;
    set_adc_channel(2);
    delay_us(10);
    Analog=read_adc();
    MediaV3=(MediaV3+Analog);
    ++V3;
}

void media_corrente(void)
{
    Analog=0;
    set_adc_channel(3);
    delay_us(10);
    Analog=read_adc();
    MediaI1=(MediaI1+Analog);
    ++I1;
    Analog=0;

    set_adc_channel(4);
    delay_us(10);
    Analog=read_adc();
    MediaV2=(MediaI2+Analog);
    ++I2;

    Analog=0;
    set_adc_channel(5);
    delay_us(10);
    Analog=read_adc();
    MediaI3=(MediaI3+Analog);
    ++I3;
}

void main()
{
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_4,249,1);
    setup_ccp1(CCP_OFF);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);

    setup_vref(FALSE);

    enable_interrupts(INT_RDA);
    enable_interrupts(INT_RTCC);
    enable_interrupts(GLOBAL);

    while(true)
    {
        if (cont==50)
        {
            output_high(pin_d4);
        }

        if (cont==100)
        {
            output_low(pin_d4);
            cont=0;
        }
    }
}

```

```
    }  
    if ((cont1==1) && (!rec))  
    {  
        Media_tensao();  
        Media_corrente();  
        cont1=0;  
    }  
}  
}
```


**APÊNDICE E – Programa de aquisição de dados visual desenvolvido em linguagem
Delphi**

```

Janela de configuração dos dados
1: unit Uconfig;
2:
3: interface
4:
5: uses
6: Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
7: Dialogs, StdCtrls, Mask, RzEdit, RzSpnEdt, ExtCtrls;
8:
9: type
10: TFConfig = class(TForm)
11: Panel1: TPanel;
12: Label1: TLabel;
13: Label2: TLabel;
14: Label3: TLabel;
15: Label4: TLabel;
16: RzSpinner1: TRzSpinner;
17: RzSpinner2: TRzSpinner;
18: RzSpinner3: TRzSpinner;
19: Panel2: TPanel;
20: Button1: TButton;
21: Button2: TButton;
22: Panel3: TPanel;
23: Label6: TLabel;
24: Label7: TLabel;
25: Label8: TLabel;
26: Label9: TLabel;
27: RzSpinner5: TRzSpinner;
28: RzSpinner6: TRzSpinner;
29: RzSpinner7: TRzSpinner;
30: Panel4: TPanel;
31: Label11: TLabel;
32: Label12: TLabel;
33: Label13: TLabel;
34: Label14: TLabel;
35: RzSpinner9: TRzSpinner;
36: RzSpinner10: TRzSpinner;
37: RzSpinner11: TRzSpinner;
38: Panel5: TPanel;
39: Label16: TLabel;
40: Label17: TLabel;
41: Label18: TLabel;
42: Label19: TLabel;
43: RzSpinner13: TRzSpinner;
44: RzSpinner14: TRzSpinner;
45: RzSpinner15: TRzSpinner;
46: CheckBox1: TCheckBox;
47: CheckBox2: TCheckBox;
48: CheckBox3: TCheckBox;
49: GroupBox1: TGroupBox;
50: Edittempo: TEdit;
51: Label20: TLabel;
52: Label21: TLabel;
53: Label5: TLabel;
54: EditDelta: TEdit;
55: procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
56: procedure FormDestroy(Sender: TObject);
57: procedure Button2Click(Sender: TObject);
58: procedure Button1Click(Sender: TObject);
59: procedure FormShow(Sender: TObject);
60: procedure EdittempoKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
61: private
62: { Private declarations }
63: public
64: { Public declarations }

```

```

65: end;
66:
67: var
68: FConfig: TFConfig;
69: T1,T2,T3,T4:string[1];
70: V1,V2,V3,V4:string[1];
71: I1,I2,I3,I4:string[1];
72: P1,P2,P3,P4:string[1];
73: s:tstringlist;
74: implementation
75:
76: uses UPrincipal;
77:
Uconfig.pas 13/01/2015 18:11:06 Page 2 of 4
78: {$R *.dfm}
79:
80: procedure TFConfig.FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
81: begin
82: Action:= caFree;
83: end;
84:
85: procedure TFConfig.FormDestroy(Sender: TObject);
86: begin
87: FConfig:=nil;
88: end;
89:
90: procedure TFConfig.Button2Click(Sender: TObject);
91: begin
92: Close;
93: end;
94:
95: procedure TFConfig.Button1Click(Sender: TObject);
96: begin
97: with FPrincipal do
98: begin
99: chartT1.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner1.Value;
100: chartT2.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner2.Value;
101: chartT3.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner3.Value;
102:
103: ChartV1.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner5.Value;
104: ChartV2.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner6.Value;
105: ChartV3.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner7.Value;
106:
107:
108: ChartI1.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner9.Value;
109: ChartI2.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner10.Value;
110: ChartI3.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner11.Value;
111:
112:
113: ChartP1.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner13.Value;
114: ChartP2.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner14.Value;
115: ChartP3.LeftAxis.Maximum:=RzSpinner15.Value;
116:
121: s.Clear;
122: s.Add(inttostr(RzSpinner1.Value));
123: s.Add(inttostr(RzSpinner2.Value));
124: s.Add(inttostr(RzSpinner3.Value));
125:
126:
127: s.Add(inttostr(RzSpinner5.Value));
128: s.Add(inttostr(RzSpinner6.Value));
129: s.Add(inttostr(RzSpinner7.Value));
130:
131:

```

```
132: s.Add(inttostr(RzSpinner9.Value));
133: s.Add(inttostr(RzSpinner10.Value));
134: s.Add(inttostr(RzSpinner11.Value));
135:
136:
137: s.Add(inttostr(RzSpinner13.Value));
138: s.Add(inttostr(RzSpinner14.Value));
139: s.Add(inttostr(RzSpinner15.Value));
140:
141:
142: if (checkbox1.Checked) then
143: begin
144: T1:='T';
145: s.Add('T');
146: ChartT1.Enabled:=True;
147: ChartV1.Enabled:=True;
148: ChartI1.Enabled:=True;
149: ChartP1.Enabled:=True;
150: end
151: else
152: begin
153: T1:='F';
154: s.Add('F');
Uconfig.pas 13/01/2015 18:11:06 Page 3 of 4
155: ChartT1.Enabled:=False;
156: ChartV1.Enabled:=False;
157: ChartI1.Enabled:=False;
158: ChartP1.Enabled:=False;
159: end;
160:
161: if (checkbox2.Checked) then
162: begin
163: T2:='T';
164: s.Add('T');
165: ChartT2.Enabled:=True;
166: ChartV2.Enabled:=True;
167: ChartI2.Enabled:=True;
168: ChartP2.Enabled:=True;
169: end
170: else
171: begin
172: T2:='F';
173: s.Add('F');
174: ChartT2.Enabled:=False;
175: ChartV2.Enabled:=False;
176: ChartI2.Enabled:=False;
177: ChartP2.Enabled:=False;
178: end;
180: if (checkbox3.Checked) then
181: begin
182: T3:='T';
183: s.Add('T');
184: ChartT3.Enabled:=True;
185: ChartV3.Enabled:=True;
186: ChartI3.Enabled:=True;
187: ChartP3.Enabled:=True;
188: end
189: else
190: begin
191: T3:='F';
192: s.Add('F');
193: ChartT3.Enabled:=False;
194: ChartV3.Enabled:=False;
195: ChartI3.Enabled:=False;
196: ChartP3.Enabled:=False;
197: end;
```

```

198:
199:
200: if (strtofloat(EditTempo.text)>0.6) and
    (strtofloat(EditDelta.Text)>10) then
201: begin
202: s.add(floattostr(strtofloat(edittempo.text)*1000));
203: s.Add(editdelta.Text);
204: timer1.Interval:=strtoint(edittempo.text)*1000;
205: s.SaveToFile('c:\temperatura\dados\config.txt');
206: DeltaSP:= editdelta.Text;
207: FConfig.Close;
208: end
209: else
210: showmessage('Tempo de aquisição deve estar entre 0,6 e 5 segundos ou
Delta menor que 10°C!')
211:
212:
213: end;
214:
215: end;
216:
217: procedure TFConfig.FormShow(Sender: TObject);
218: begin
219: if (s.Count>0) then
220: begin
221: RzSpinner1.Value:=strtoint(s.Strings[0]);
222: RzSpinner2.Value:=strtoint(s.Strings[1]);
223: RzSpinner3.Value:=strtoint(s.Strings[2]);
224:
225:
226: RzSpinner5.Value:=strtoint(s.Strings[3]);
227: RzSpinner6.Value:=strtoint(s.Strings[4]);
228: RzSpinner7.Value:=strtoint(s.Strings[5]);
229:
230:
231: RzSpinner9.Value:=strtoint(s.Strings[6]);
Uconfig.pas 13/01/2015 18:11:06 Page 4 of 4
232: RzSpinner10.Value:=strtoint(s.Strings[7]);
233: RzSpinner11.Value:=strtoint(s.Strings[8]);
234:
235:
236: RzSpinner13.Value:=strtoint(s.Strings[9]);
237: RzSpinner14.Value:=strtoint(s.Strings[10]);
238: RzSpinner15.Value:=strtoint(s.Strings[11]);
239:
240: if (s.Strings[12]='T') then
241: CheckBox1.Checked:=true
242: else
243: CheckBox1.Checked:=False;
244:
245: if (s.Strings[13]='T') then
246: CheckBox2.Checked:=true
247: else
248: CheckBox2.Checked:=False;
249: if (s.Strings[14]='T') then
250: CheckBox3.Checked:=true
251: else
252: CheckBox3.Checked:=False;
253: end;
254: EditTempo.text:=floattostr(strtofloat(s.Strings[15])/1000);
255: EditDelta.Text:=s.Strings[16];
256: end;
257:
258: procedure TFConfig.EdittempoKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
259: begin
260: FPrincipal.trocapontoporvirgula(key);

```

261: **end;**
262:
263: **end.**

```

Janela de nova aquisição
1: unit UNovo;
2:
3: interface
4:
5: uses
6: Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
7: Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls;
8:
9: type
10: TFNovo = class(TForm)
11: Panel1: TPanel;
12: Label1: TLabel;
13: EditNome: TEdit;
14: BSalvar: TButton;
15: BCancelar: TButton;
16: Panel2: TPanel;
17: Edit4: TEdit;
18: Label5: TLabel;
19: Label4: TLabel;
20: Edit3: TEdit;
21: Label3: TLabel;
22: Edit2: TEdit;
23: Edit1: TEdit;
24: Label2: TLabel;
25: Label6: TLabel;
26: procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
27: procedure FormDestroy(Sender: TObject);
28: procedure BSalvarClick(Sender: TObject);
29: procedure BCancelarClick(Sender: TObject);
30: private
31: { Private declarations }
32: public
33: { Public declarations }
34: end;
35:
36: var
37: FNovo: TFNovo;
38: Dir, nome: String;
39: SDAQ1, SDAQ2, SDAQ3, SDAQ4: TStringlist;
40: fl: textfile;
41: implementation
42:
43: uses Uconfig, UPrincipal;
44:
45: {$R *.dfm}
46:
47: procedure TFNovo.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
48: begin
49: Action:= caFree;
50: end;
51:
52: procedure TFNovo.FormDestroy(Sender: TObject);
53: begin
54: FNovo:=nil;
55: end;
56:
57: procedure TFNovo.BSalvarClick(Sender: TObject);
58: begin
59: Dir := 'C:\Temperatura\Aquisições\' + EditNome.text;
60: Nome:=EditNome.text;
61: if not DirectoryExists(Dir) then
62: begin

```

```

63: ForceDirectories (Dir);
64: AssignFile (f1, Dir+'\' +EditNome.Text+'1.txt');
65: Rewrite (F1);
66: CloseFile (F1);
67: AssignFile (f1, Dir+'\' +EditNome.Text+'2.txt');
68: Rewrite (F1);
69: CloseFile (F1);
70: AssignFile (f1, Dir+'\' +EditNome.Text+'3.txt');
71: Rewrite (F1);
72: CloseFile (F1);
73: AssignFile (f1, Dir+'\' +EditNome.Text+'4.txt');
74: Rewrite (F1);
75: CloseFile (F1);
76: SDAQ1:=TStringList.Create;
77: SDAQ2:=TStringList.Create;
UNovo.pas 03/05/2013 08:50:32 Page 2 of 2
78: SDAQ3:=TStringList.Create;
79: SDAQ4:=TStringList.Create;
80: sdaq1.Add (Edit1.Text);
81: sdaq1.SaveToFile (dir+'\' +nome+'1.txt');
82: sdaq2.Add (Edit2.Text);
83: sdaq2.SaveToFile (dir+'\' +nome+'2.txt');
84: sdaq3.Add (Edit3.Text);
85: sdaq3.SaveToFile (dir+'\' +nome+'3.txt');
86: sdaq4.Add (Edit4.Text);
87: sdaq4.SaveToFile (dir+'\' +nome+'4.txt');
88:
89:
90: FPrincipal.Aquisicao1.Enabled:=true;
91:
92: cont:=0;
93: temperatura:='';
94: temptratada:='';
95: tempint:='';
96: pos1:=0;
97: pos2:=0;
98: pos3:=0;
99: pos4:=0;
100:
101:
102: close;
103: end
104: else
105: ShowMessage ('Aquisição já existente');
106:
107: end;
108:
109: procedure TFNovo.BCancelarClick (Sender: TObject);
110: begin
111: close;
112: end;
113:
114: end.

```

Janela Principal

```

1: unit UPrincipal;
2:
3: interface
4:
5: uses
6: Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
7: Dialogs, StdCtrls, CPort, ExtCtrls, TeEngine, Series, TeeProcs, Chart,
8: RzEdit, ComCtrls, RzTabs, RzBorder, Menus;

```



```
9:
10: type
11: TFPrincipal = class(TForm)
12: ComPort1: TComPort;
13: RZPageControll: TRzPageControl;
14: TabSheet1: TRzTabSheet;
15: TabSheet2: TRzTabSheet;
16: TabSheet3: TRzTabSheet;
17: ChartT1: TChart;
18: Series1: TLineSeries;
19: Series2: TLineSeries;
20: Series3: TLineSeries;
21: ChartV1: TChart;
22: Series4: TLineSeries;
23: ChartI1: TChart;
24: Series5: TLineSeries;
25: Timer1: TTimer;
26: ChartT3: TChart;
27: LineSeries2: TLineSeries;
28: LineSeries3: TLineSeries;
29: LineSeries4: TLineSeries;
30: ChartV3: TChart;
31: LineSeries5: TLineSeries;
32: ChartI3: TChart;
33: LineSeries6: TLineSeries;
34: ChartP3: TChart;
35: LineSeries7: TLineSeries;
36: ChartT2: TChart;
37: LineSeries14: TLineSeries;
38: LineSeries15: TLineSeries;
39: LineSeries16: TLineSeries;
40: ChartV2: TChart;
41: LineSeries17: TLineSeries;
42: ChartI2: TChart;
43: LineSeries18: TLineSeries;
44: ChartP2: TChart;
45: LineSeries19: TLineSeries;
46: TabSheet5: TRzTabSheet;
47: Panel2: TPanel;
48: Label1: TLabel;
49: LabelTQ1: TLabel;
50: Label2: TLabel;
51: Label3: TLabel;
52: LabelTF1: TLabel;
53: Label4: TLabel;
54: LabelDT1: TLabel;
55: Label5: TLabel;
56: Label6: TLabel;
57: Label7: TLabel;
58: LabelV1: TLabel;
59: LabelI1: TLabel;
60: LabelP1: TLabel;
61: Panel3: TPanel;
62: Label11: TLabel;
63: LabelTQ2: TLabel;
64: Label13: TLabel;
65: Label14: TLabel;
66: LabelTF2: TLabel;
67: Label16: TLabel;
68: LabelDT2: TLabel;
69: Label18: TLabel;
70: Label19: TLabel;
71: Label20: TLabel;
72: LabelV2: TLabel;
73: LabelI2: TLabel;
74: LabelP2: TLabel;
75: Panel4: TPanel;
76: Label24: TLabel;
```

```
77: LabelTQ3: TLabel;
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 2 of 14
78: Label26: TLabel;
79: Label27: TLabel;
80: LabelTF3: TLabel;
81: Label29: TLabel;
82: LabelDT3: TLabel;
83: Label31: TLabel;
84: Label32: TLabel;
85: Label33: TLabel;
86: LabelV3: TLabel;
87: LabelI3: TLabel;
88: LabelP3: TLabel;
89: MainMenu1: TMainMenu;
90: Aquisio1: TMenuItem;
91: Configurar1: TMenuItem;
92: Portal1: TMenuItem;
93: Graficos1: TMenuItem;
94: Sobre1: TMenuItem;
95: NovaAquisio1: TMenuItem;
96: Fechar1: TMenuItem;
97: StatusBar1: TStatusBar;
98: Timer2: TTimer;
99: Abrir1: TMenuItem;
100: Aquisicao1: TMenuItem;
101: Iniciar2: TMenuItem;
102: Parar1: TMenuItem;
103: OpenDialog1: TOpenDialog;
104: Label8: TLabel;
105: ChartP1: TChart;
106: LineSeries1: TLineSeries;
107: procedure ComPort1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
108: function BinToInt(Value: string): LongInt;
109: procedure tratarec();
110: procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
111: procedure ChartT1Db1Click(Sender: TObject);
112: procedure FormShow(Sender: TObject);
113: procedure ChartV1Db1Click(Sender: TObject);
114: procedure ChartI1Db1Click(Sender: TObject);
115: procedure ChartP1Db1Click(Sender: TObject);
116: procedure ChartT2Db1Click(Sender: TObject);
117: procedure ChartT3Db1Click(Sender: TObject);
118: procedure ChartV2Db1Click(Sender: TObject);
119: procedure ChartV3Db1Click(Sender: TObject);
120: procedure Charti2Db1Click(Sender: TObject);
121: procedure ChartI3Db1Click(Sender: TObject);
122: procedure ChartP2Db1Click(Sender: TObject);
123: procedure ChartP3Db1Click(Sender: TObject);
124: procedure Graficos1Click(Sender: TObject);
125: procedure Portal1Click(Sender: TObject);
126: procedure NovaAquisio1Click(Sender: TObject);
127: procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
128: procedure Iniciar2Click(Sender: TObject);
129: procedure Parar1Click(Sender: TObject);
130: procedure Abrir1Click(Sender: TObject);
131: procedure Sobre1Click(Sender: TObject);
132: procedure Fechar1Click(Sender: TObject);
133: function trocapontoporvirgula(valor:string):string;
134: procedure Button1Click(Sender: TObject);
135: procedure Button2Click(Sender: TObject);
136:
137: private
138: { Private declarations }
139: public
```

```

140: { Public declarations }
141: end;
142:
143: var
144: FPrincipal: TFPrincipal;
145: lido:string;
146: cont:integer;
147: temperatura:string;
148: temptratada:string;
149: tempint:string;
150: zoom:boolean;
151: TempDT1,TempDT2,TempDT3,Delta:string[10];
152: tensao,corrente,potencia:string[10];
153: tensaoq,correnteq:real;
154:
pos1,pos2,pos3,pos4,pos5,pos6,pos7,pos8,pos9,pos10,pos11,pos12:integer;
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 3 of 14
155: tratado,VIP:string;
156: TempDT1a,TempDT2a,Deltaa:string;
157: Tensaoa,Correntea,Potenciaa:string;
158: canalmaximo:integer;
159: VIPa:string;
160: Tq1Ant,TF1Ant:string;
161: trava1,trava2:boolean;
162: DeltaSP:string;
163: implementation
164:
165: uses Uconfig, UNovo, USobre;
166:
167: {$R *.dfm}
168:
169: procedure TFPrincipal.ComPort1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
170: var
171: buf:string;
172: begin
173: try
174: comport1.ReadStr(buf,count);
175:
176: if (buf='0') or (buf='1') or (buf='2') or (buf='3') or (buf='4') or
(buf='5') or
177: (buf='6') or (buf='7') or (buf='8') or (buf='9') or (buf='.') or
(buf='@') or
178: (buf='#') then
179: begin
180: if (cont=1) or (cont=2) or (cont=5) or (cont=6) or (cont=9) or
(cont=10) then
181: begin
182: if (buf<>'#') then
183: begin
184: temperatura:=temperatura+buf;
185: end
186: else
187: begin
188: temptratada:=temperatura;
189: temperatura:='';
190: tratarec();
191: end;
192: end
193: else
194: begin
195: if (buf<>'@') then
196: begin
197: VIP:=VIP+buf;

```

```
198: end
199: else
200: begin
201: tratarec();
202: VIP:='';
203: end;
204: end;
205: end;
206: except
207: end;
208: end;
209:
210: function tratastring(valor:string):string;
211: begin
212: try
213: result:='';
214: if (strtofloat(valor))<=0 then
215: valor:='000,00';
216: if (strtofloat(valor)<10) and (strtofloat(valor)>0) then
217: begin
218: valor:='00'+valor;
219: end;
220: if (strtofloat(valor)>10) and (strtofloat(valor)<100) then
221: begin
222: valor:='0'+valor;
223: end;
224:
225: if (copy(valor,5,2)) = '0' then
226: begin
227: valor:=valor+'0';
228: end;
229:
230: Result:=valor;
231: except
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 4 of 14
232: end;
233: end;
234:
235: function TFPrincipal.trocapontoporvirgula(valor:string):string;
236: var
237: x:integer;
238: begin
239: try
240: for x:=0 to sizeof(valor) do
241: begin
242: if valor[x]='.' then
243: valor[x]:=', '
244: else
245: valor[x]:=valor[x];
246: end;
247: result:=valor;
248: except
249: end;
250: end;
251:
252: procedure TFPrincipal.tratarec();
253: var
254: temptermo,tempint1:string;
255: x:integer;
256: begin
257: try
```

```

258: if (cont=1) or (cont=2) or (cont=5) or (cont=6) or (cont=9) or
(cont=10) then
259: begin
260: temptermo:=trocapontoporvirgula(temptratada);
261: end
262: else
263: begin
264: vipa:='';
265: for x:=1 to length(VIP) do
266: begin
267: if (VIP[x]<>'@') then
268: VIPa:=VIPa+VIP[x];
269: end;
270:
271: end;
272:
273: case cont of
274: 1: begin
275: TempDT1:=temptermo;
276: LabelTQ1.Caption:=temptermo+'°C';
277: end;
278: 2: begin
279: inc(pos1);
280: TempDT2:=temptermo;
281: LabelTF1.Caption:=temptermo+'°C';
282: LabelDT1.Caption:=floattostrf((strtofloat(TempDT1) -
Strtofloat(TempDT2)),ffNumber,3,2
283: Delta:=floattostrf((strtofloat(TempDT1) -
Strtofloat(TempDT2)),ffNumber,3,2);
284:
ChartT1.Series[0].AddXY(pos1,strtofloat(TempDT1),timetostr(now),clred);
285:
ChartT1.Series[1].AddXY(pos1,strtofloat(TempDT2),timetostr(now),clblue);
286:
ChartT1.Series[2].AddXY(pos1,strtofloat(Delta),timetostr(now),clblack);
287: tempDT1a:=tratastring(TempDT1);
288: TempDT2a:=tratastring(TempDT2);
289: Deltaa:=tratastring(Delta);
290:
291:
292:
293: end;
294: 3: begin
295: inc(pos5);
296: Tensao:=trocapontoporvirgula(VIPa);
297: tensaoq:=(((strtofloat(tensao))*0.9988)-0.0719);
298: tensao:=floattostrf(tensaoq,ffnumber,3,2);
299: LabelV1.Caption:=tensao+'V';
300: ChartV1.Series[0].AddXY(pos5,strtofloat(Tensao),timetostr(now),clred);
301: end;
302: 4: begin
303: inc(pos6);
304: Corrente:=trocapontoporvirgula(VIPa);
305: //y = 0,9857x - 0,0118
306: //y = 0,9869x - 0,0128
307:
308: //corrente:=(((strtofloat(corrente))*0.9857)-0.0118);
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 5 of 14
309: //corrente:=floattostrf(corrente,ffnumber,3,2);
310:
Potencia:=FloatToStrF((strtofloat(tensao)*strtofloat(corrente)),ffNumber,2,
2);
311: LabelI1.Caption:=Corrente+'A';
312: LabelP1.Caption:=Potencia+'W';

```

```

313:
ChartI1.Series[0].AddXY(pos6,strtofloat(Corrente),timetostr(now),clblue);
314:
Chartp1.Series[0].AddXY(pos6,strtofloat(Potencia),timetostr(now),clblack);
315: Tensaoa:=tratastring(tensao);
316: Correntea:=tratastring(corrente);
317: Potenciaa:=tratastring(Potencia);
318:
SDAQ1.Add(TempDT1a+'|'+TempDT2a+'|'+Deltaa+'|'+Tensaoa+'|'+Correntea+'|'+Po
tenciaa);
319: SDAQ1.SaveToFile(dir+'\''+nome+'1.txt');
320: VIPA:='';
321: VIP:='';
322: Tensao:='';
323: Tensaoa:='';
324: Corrente:='';
325: Correntea:='';
326: end;
327: 5: begin
328: TempDT1:=temptermo;
329: LabelTQ2.Caption:=temptermo+'°C';
330: end;
331: 6: begin
332: inc(pos2);
333: TempDT2:=temptermo;
334: LabelTF2.Caption:=temptermo+'°C';
335: LabelDT2.Caption:=floattostrf((strtofloat(TempDT1) -
Strtofloat(TempDT2)),ffNumber,3,2
336: Delta:=floattostrf((strtofloat(TempDT1) -
Strtofloat(TempDT2)),ffNumber,3,2);
337:
ChartT2.Series[0].AddXY(pos2,strtofloat(TempDT1),timetostr(now),clred);
338:
ChartT2.Series[1].AddXY(pos2,strtofloat(TempDT2),timetostr(now),clblue);
339:
ChartT2.Series[2].AddXY(pos2,strtofloat(Delta),timetostr(now),clblack);
340: tempDT1a:=tratastring(TempDT1);
341: TempDT2a:=tratastring(TempDT2);
342: Deltaa:=tratastring(Delta);
343: end;
344:
345: 7: begin
346: inc(pos7);
347: Tensao:=trocapontoporvirgula(VIPa);
348: LabelV2.Caption:=tensao+'V';
349: ChartV2.Series[0].AddXY(pos7,strtofloat(Tensao),timetostr(now),clred);
350: end;
351: 8: begin
352: inc(pos8);
353: Corrente:=trocapontoporvirgula(VIPa);
354:
Potencia:=FloatToStrF((strtofloat(tensao)*strtofloat(corrente)),ffNumber,2,
2);
355: LabelI2.Caption:=Corrente+'A';
356: LabelP2.Caption:=Potencia+'W';
357:
ChartI2.Series[0].AddXY(pos8,strtofloat(Corrente),timetostr(now),clblue);
358:
Chartp2.Series[0].AddXY(pos8,strtofloat(Corrente),timetostr(now),clblack);
359: Tensaoa:=tratastring(tensao);
360: Correntea:=tratastring(corrente);
361: Potenciaa:=tratastring(Potencia);
362:
SDAQ2.Add(TempDT1a+'|'+TempDT2a+'|'+Deltaa+'|'+Tensaoa+'|'+Correntea+'|'+Po
tenciaa);
363: SDAQ2.SaveToFile(dir+'\''+nome+'2.txt');
364: end;

```

```

365: 9: begin
366: TempDT1:=temptermo;
367: LabelTQ3.Caption:=temptermo+'°C';
368: end;
369: 10: begin
370: inc(pos3);
371: TempDT2:=temptermo;
372: LabelTF3.Caption:=temptermo+'°C';
373: LabelDT3.Caption:=floattostrf((strtofloat(TempDT1) -
Strtofloat(TempDT2)), ffNumber, 3, 2
374: Delta:=floattostrf((strtofloat(TempDT1) -
Strtofloat(TempDT2)), ffNumber, 3, 2);
375:
ChartT3.Series[0].AddXY(pos3, strtofloat(TempDT1), timetostr(now), clred);
376:
ChartT3.Series[1].AddXY(pos3, strtofloat(TempDT2), timetostr(now), clblue);
377:
ChartT3.Series[2].AddXY(pos3, strtofloat(Delta), timetostr(now), clblack);
378: tempDT1a:=tratastring(TempDT1);
379: TempDT2a:=tratastring(TempDT2);
380: Deltaa:=tratastring(Delta);
381:
382: end;
383: 12: begin
384: inc(pos9);
385: Tensao:=trocapontoporvirgula(VIPa);
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 6 of 14
386: LabelV3.Caption:=tensao+'V';
387: ChartV3.Series[0].AddXY(pos7, strtofloat(Tensao), timetostr(now), clred);
388: end;
389: 13: begin
390: inc(pos10);
391: Corrente:=trocapontoporvirgula(VIPa);
392:
Potencia:=FloatToStrF((strtofloat(tensao)*strtofloat(corrente)), ffNumber, 2,
2);
393: LabelI3.Caption:=Corrente+'A';
394: LabelP3.Caption:=Potencia+'W';
395:
ChartI3.Series[0].AddXY(pos8, strtofloat(Corrente), timetostr(now), clblue);
396:
Chartp3.Series[0].AddXY(pos8, strtofloat(Corrente), timetostr(now), clblack);
397: Tensaoa:=tratastring(tensao);
398: Correntea:=tratastring(corrente);
399: Potenciaa:=tratastring(Potencia);
400:
SDAQ3.Add(TempDT1a+'|'+TempDT2a+'|'+Deltaa+'|'+Tensaoa+'|'+Correntea+'|'+Po
tenciaa);
401: SDAQ3.SaveToFile(dir+'\' +nome+'3.txt');
402: end;
403:
404:
405: end;
406: if (cont=4) and (T2='F') then
407: cont:=8;
408: if (cont=8) and (T3='F') then
409: cont:=0;
410:
411: except
412: cont:=0;
413:
414:
415: end;
416: end;
417:
418: function TFPrincipal.BinToInt(Value: string): LongInt;

```

```

419: var i: Integer;
420: begin
421:
422: Result := 0;
423: //remove os zeros a esquerda
424: while Copy(Value, 1, 1) = '0' do
425: Value := Copy(Value, 2, Length(Value) - 1);
426: //faz a conversão
427: for i := 1 to Length(Value) do
428: if Copy(Value, i, 1) = '1' then
429: Result := Result + (1 shl (Length(Value) - i));
430:
431: end;
432: procedure TFPrincipal.Timer1Timer(Sender: TObject);
433: begin
434: temperatura:='';
435: temptratada:='';
436: tempint:='';
437: VIP:='';
438: inc(cont);
439:
440:
441:
442: if (cont>=12) then
443: cont:=0;
444:
445: if (T1='T') then
446: begin
447: if Cont=1 then
448: begin
449: comport1.WriteStr('a');
450: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH1 T1';
451: end;
452: if Cont=2 then
453: begin
454: comport1.WriteStr('b');
455: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH1 T2';
456: end;
457:
458: if Cont=3 then
459: begin
460: VIP:='';
461: comport1.WriteStr('i');
462: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH1 V';
463:
464:
465: if ((strtofloat(delta))>(strtoint(DeltaSp)+2)) and (trava1=false) then
466: begin
467: comport1.WriteStr('y');
468: trava1:=true;
469: trava2:=false;
470: end;
471:
472: if ((strtofloat(delta))<(strtoint(DeltaSp)-2)) and (trava2=false) then
473: begin
474: comport1.WriteStr('x');
475: trava2:=true;
476: trava1:=false;
477: end;
478: end;
479:
480: if Cont=4 then
481: begin

```



```
482: VIP:='';
483: comport1.WriteStr('l');
484: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH1 I';
485: end;
486: end;
487:
488: if (T2='T') then
489: begin
490: if Cont=5 then
491: begin
492: comport1.WriteStr('c');
493: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH2 T1';
494: end;
495:
496: if Cont=6 then
497: begin
498: comport1.WriteStr('d');
499: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH2 T2';
500: end;
501:
502: if Cont=7 then
503: begin
504: VIP:='';
505: comport1.WriteStr('j');
506: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH2 V';
507: end;
508:
509: if Cont=8 then
510: begin
511: VIP:='';
512: comport1.WriteStr('m');
513: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH2 I';
514: end;
515: end;
516:
517: if (T3='T') then
518: begin
519: if Cont=9 then
520: begin
521: comport1.WriteStr('e');
522: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH3 T1';
523: end;
524: if Cont=10 then
525: begin
526: comport1.WriteStr('f');
527: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH3 T2';
528: end;
529: if Cont=11 then
530: begin
531: VIP:='';
532: comport1.WriteStr('k');
533: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH3 V';
534: end;
535: if Cont=12 then
536: begin
537: VIP:='';
538: comport1.WriteStr('n');
539: StatusBar1.Panels[0].Text:='Status: Lendo CH3 I';
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 8 of 14
540: end;
541: end;
542:
543:
544:
```

```
545: end;
546:
547: procedure TFPrincipal.ChartT1DbClick(Sender: TObject);
548: begin
549:   if (zoom=false) then
550:   begin
551:     ChartT1.BringToFront;
552:     chartT1.Height:=625;
553:     zoom:=true;
554:   end
555:   else
556:   begin
557:     chartT1.Height:=152;
558:     zoom:=False;
559:   end;
560:
561: end;
562:
563: procedure TFPrincipal.FormShow(Sender: TObject);
564: var
565:   FDado:TextFile;
566: begin
567:   cont:=0;
568:   trava1:=false;
569:   trava2:=false;
570:   StatusBar1.Panels[2].Text:=datetostr(now);
571:   statusBar1.Panels[3].Text:=timetostr(now);
572:
573:   zoom:=false;
574:   if not (FileExists('c:\temperatura\dados\config.txt')) then
575:   begin
576:     AssignFile(FDado,'c:\temperatura\dados\config.txt');
577:     Rewrite(FDado);
578:     CloseFile(Fdado);
579:     s:=TStringList.Create;
580:   end
581:   else
582:   begin
583:     s:=TStringList.Create;
584:     s.LoadFromFile('c:\temperatura\dados\config.txt');
585:
586:     chartT1.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[0]);
587:     chartT2.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[1]);
588:     chartT3.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[2]);
589:
590:
591:     ChartV1.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[3]);
592:     ChartV2.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[4]);
593:     ChartV3.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[5]);
594:
595:
596:     ChartI1.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[6]);
597:     ChartI2.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[7]);
598:     ChartI3.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[8]);
599:
600:
601:     ChartP1.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[9]);
602:     ChartP2.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[10]);
603:     ChartP3.LeftAxis.Maximum:=strtoint(s.Strings[11]);
604:
605:
606:     if (s.Strings[12]='T') then
607:     begin
608:       T1:='T';
609:       ChartT1.Enabled:=True;
610:       ChartV1.Enabled:=True;
```

```
611: Chart1.Enabled:=True;
612: Chartp1.Enabled:=True;
613: end
614: else
615: begin
616: T1:='F';
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 9 of 14
617: ChartT1.Enabled:=False;
618: ChartV1.Enabled:=False;
619: Charti1.Enabled:=False;
620: Chartp1.Enabled:=False;
621: end;
622:
623: if (s.Strings[13]='T') then
624: begin
625: T2:='T';
626: ChartT2.Enabled:=True;
627: ChartV2.Enabled:=True;
628: Charti2.Enabled:=True;
629: Chartp2.Enabled:=True;
630: end
631: else
632: begin
633: T2:='F';
634: ChartT2.Enabled:=False;
635: ChartV2.Enabled:=False;
636: Charti2.Enabled:=False;
637: Chartp2.Enabled:=False;
638: end;
639:
640: if (s.Strings[14]='T') then
641: begin
642: T3:='T';
643: ChartT3.Enabled:=True;
644: ChartV3.Enabled:=True;
645: Charti3.Enabled:=True;
646: Chartp3.Enabled:=True;
647: end
648: else
649: begin
650: T3:='F';
651: ChartT3.Enabled:=False;
652: ChartV3.Enabled:=False;
653: Charti3.Enabled:=False;
654: Chartp3.Enabled:=False;
655: end;
656:
657: deltax:=s.Strings[16];
658: //timer1.Interval:=strtoint(s.Strings[20]);
659: end;
660:
661: end;
662:
663: procedure TFPrincipal.ChartV1DbClick(Sender: TObject);
664: begin
665: if (zoom=false) then
666: begin
667: ChartV1.Top:=ChartT1.Top;
668: ChartV1.BringToFront;
669: ChartV1.Height:=625;
670: zoom:=true;
671: end
672: else
673: begin
674: ChartV1.Top:=167;
```

```
675: ChartV1.Height:=152;
676: zoom:=False;
677: end;
678: end;
679:
680: procedure TFPrincipal.ChartI1DbClick(Sender: TObject);
681: begin
682:   if (zoom=false) then
683:   begin
684:     ChartI1.Top:=ChartT1.Top;
685:     ChartI1.BringToFront;
686:     ChartI1.Height:=625;
687:     zoom:=true;
688:   end
689:   else
690:   begin
691:     ChartI1.Top:=325;
692:     ChartI1.Height:=152;
693:     zoom:=False;
694:   end;
695: end;
696:
697: procedure TFPrincipal.ChartP1DbClick(Sender: TObject);
698: begin
699:   if (zoom=false) then
700:   begin
701:     ChartP1.Top:=ChartT1.Top;
702:     ChartP1.BringToFront;
703:     ChartP1.Height:=625;
704:     zoom:=true;
705:   end
706:   else
707:   begin
708:     ChartP1.Top:=481;
709:     ChartP1.Height:=152;
710:     zoom:=False;
711:   end;
712: end;
713:
714: procedure TFPrincipal.ChartT2DbClick(Sender: TObject);
715: begin
716:   if (zoom=false) then
717:   begin
718:     ChartT2.BringToFront;
719:     ChartT2.Height:=625;
720:     zoom:=true;
721:   end
722:   else
723:   begin
724:     ChartT2.Height:=152;
725:     zoom:=False;
726:   end;
727: end;
728:
729: procedure TFPrincipal.ChartT3DbClick(Sender: TObject);
730: begin
731:   if (zoom=false) then
732:   begin
733:     ChartT3.BringToFront;
734:     ChartT3.Height:=625;
735:     zoom:=true;
736:   end
737:   else
```

```
738: begin
739: ChartT3.Height:=152;
740: zoom:=False;
741: end;
742: end;
743:
744: procedure TFPrincipal.ChartV2DbClick(Sender: TObject);
745: begin
746: if (zoom=false) then
747: begin
748: ChartV2.Top:=ChartT2.Top;
749: ChartV2.BringToFront;
750: ChartV2.Height:=625;
751: zoom:=true;
752: end
753: else
754: begin
755: ChartV2.Top:=167;
756: ChartV2.Height:=152;
757: zoom:=False;
758: end;
759: end;
760:
761: procedure TFPrincipal.ChartV3DbClick(Sender: TObject);
762: begin
763: if (zoom=false) then
764: begin
765: ChartV3.Top:=ChartT3.Top;
766: ChartV3.BringToFront;
767: ChartV3.Height:=625;
768: zoom:=true;
769: end
770: else
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 11 of 14
771: begin
772: ChartV3.Top:=167;
773: ChartV3.Height:=152;
774: zoom:=False;
775: end;
776: end;
777:
778: procedure TFPrincipal.Charti2DbClick(Sender: TObject);
779: begin
780: if (zoom=false) then
781: begin
782: ChartI2.Top:=ChartT2.Top;
783: ChartI2.BringToFront;
784: ChartI2.Height:=625;
785: zoom:=true;
786: end
787: else
788: begin
789: ChartI2.Top:=325;
790: ChartI2.Height:=152;
791: zoom:=False;
792: end;
793: end;
794:
795: procedure TFPrincipal.Charti3DbClick(Sender: TObject);
796: begin
797: if (zoom=false) then
798: begin
799: ChartI3.Top:=ChartT3.Top;
800: ChartI3.BringToFront;
```

```
801: ChartI3.Height:=625;
802: zoom:=true;
803: end
804: else
805: begin
806: ChartI3.Top:=325;
807: ChartI3.Height:=152;
808: zoom:=False;
809: end;
810: end;
811:
812: procedure TFPrincipal.ChartP2DbClick(Sender: TObject);
813: begin
814: if (zoom=false) then
815: begin
816: ChartP2.Top:=ChartT2.Top;
817: ChartP2.BringToFront;
818: ChartP2.Height:=625;
819: zoom:=true;
820: end
821: else
822: begin
823: ChartP2.Top:=481;
824: ChartP2.Height:=152;
825: zoom:=False;
826: end;
827: end;
828:
829: procedure TFPrincipal.ChartP3DbClick(Sender: TObject);
830: begin
831: if (zoom=false) then
832: begin
833: ChartP3.Top:=ChartT3.Top;
834: ChartP3.BringToFront;
835: ChartP3.Height:=625;
836: zoom:=true;
837: end
838: else
839: begin
840: ChartP3.Top:=481;
841: ChartP3.Height:=152;
842: zoom:=False;
843: end;
844: end;
845:
846: procedure TFPrincipal.Graficos1Click(Sender: TObject);
847: begin
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 12 of 14
848: if FConfig = nil then
849: Application.CreateForm(TFConfig, FConfig);
850: FConfig.Show;
851: end;
852:
853: procedure TFPrincipal.PortalClick(Sender: TObject);
854: begin
855: Comport1.ShowSetupDialog;
856: end;
857:
858: procedure TFPrincipal.NovaAquisio1Click(Sender: TObject);
859: begin
860: if FNovo = nil then
861: Application.CreateForm(TFNovo, FNovo);
862: FNovo.Show;
863:
```

```

864: end;
865:
866: procedure TFPrincipal.Timer2Timer(Sender: TObject);
867: begin
868: StatusBar1.Panels[2].Text:=datetostr(now);
869: statusBar1.Panels[3].Text:=timetostr(now);
870: end;
871:
872: procedure TFPrincipal.Iniciar2Click(Sender: TObject);
873: begin
874: iniciar2.Checked:=true;
875:
876: Parar1.Checked:=False;
877: comport1.Open;
878: timer1.enabled:=true;
879:
880: end;
881:
882: procedure TFPrincipal.Parar1Click(Sender: TObject);
883: begin
884: iniciar2.Checked:=False;
885: Parar1.Checked:=true;
886: Parar1.Checked:=true;
887: Timer1.Enabled:=false;
888: comport1.close;
889: end;
890:
891: procedure TFPrincipal.Abrir1Click(Sender: TObject);
892: var
893: y:integer;
894: Arq1,arq2,arq3,arq4:string;
895: begin
896: if (opendialog1.Execute) then
897: begin
898: ChartT1.Series[0].Clear;
899: ChartT1.Series[1].Clear;
900: ChartT1.Series[2].Clear;
901: ChartV1.Series[0].Clear;
902: ChartI1.Series[0].Clear;
903: Aquisicao1.Enabled:=true;
904: SDAQ1:=TStringList.Create;
905: SDAQ2:=TStringList.Create;
906: SDAQ3:=TStringList.Create;
907: SDAQ4:=TStringList.Create;
908:
909: Arq1:=opendialog1.filename;
910: Arq1:=Copy(Arq1,0,Length(arq1)-5);
911: Arq2:=Arq1+'2.txt';
912: Arq3:=Arq1+'3.txt';
913: Arq4:=Arq1+'4.txt';
914: Arq1:=Arq1+'1.txt';
915:
916: sdaq1.LoadFromFile(Arq1);
917: sdaq2.LoadFromFile(Arq2);
918: sdaq3.LoadFromFile(Arq3);
919: sdaq4.LoadFromFile(Arq4);
920:
921: for y:=1 to SDAQ1.Count-2 do
922: begin
923: TempDT1:=copy(sdaq1.Strings[y],0,6);
924: TempDT2:=copy(sdaq1.Strings[y],8,6);
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 13 of 14
925: Delta:=copy(sdaq1.Strings[y],15,6);
926: Tensao:=copy(sdaq1.Strings[y],23,5);
927: Corrente:=copy(sdaq1.Strings[y],30,5);
928: Potencia:=copy(sdaq1.Strings[y],37,5);

```

```

929:
930: ChartT1.Series[0].AddXY(y, strtofloat(TempDT1), inttostr(y), clred);
931: ChartT1.Series[1].AddXY(y, strtofloat(TempDT2), inttostr(y), clblue);
932: ChartT1.Series[2].AddXY(y, strtofloat(Delta), inttostr(y), clblack);
933: ChartV1.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Tensao), inttostr(y), clred);
934: ChartI1.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Corrente), inttostr(y), clblue);
935: ChartP1.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Potencia), inttostr(y), clblack);
936:
937: {TempDT1:=copy(sdaq2.Strings[y],0,6);
938: TempDT2:=copy(sdaq2.Strings[y],8,6);
939: Delta:=copy(sdaq2.Strings[y],15,6);
940: Tensao:=copy(sdaq2.Strings[y],22,6);
941: Corrente:=copy(sdaq2.Strings[y],29,6);
942: Potencia:=copy(sdaq2.Strings[y],36,6);
943:
944: ChartT2.Series[0].AddXY(y, strtofloat(TempDT1), timetostr(now), clred);
945: ChartT2.Series[1].AddXY(y, strtofloat(TempDT2), timetostr(now), clblue);
946: ChartT2.Series[2].AddXY(y, strtofloat(Delta), timetostr(now), clblack);
947: ChartV2.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Tensao), timetostr(now), clred);
948: ChartI2.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Corrente), timetostr(now), clblue);
949:
ChartP2.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Potencia), timetostr(now), clblack);
950:
951: TempDT1:=copy(sdaq3.Strings[y],0,6);
952: TempDT2:=copy(sdaq3.Strings[y],8,6);
953: Delta:=copy(sdaq3.Strings[y],15,6);
954: Tensao:=copy(sdaq3.Strings[y],22,6);
955: Corrente:=copy(sdaq3.Strings[y],29,6);
956: Potencia:=copy(sdaq3.Strings[y],36,6);
957:
958: ChartT3.Series[0].AddXY(y, strtofloat(TempDT1), timetostr(now), clred);
959: ChartT3.Series[1].AddXY(y, strtofloat(TempDT2), timetostr(now), clblue);
960: ChartT3.Series[2].AddXY(y, strtofloat(Delta), timetostr(now), clblack);
961: ChartV3.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Tensao), timetostr(now), clred);
962: ChartI3.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Corrente), timetostr(now), clblue);
963:
ChartP3.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Potencia), timetostr(now), clblack);
964:
965: TempDT1:=copy(sdaq4.Strings[y],0,6);
966: TempDT2:=copy(sdaq4.Strings[y],8,6);
967: Delta:=copy(sdaq4.Strings[y],15,6);
968: Tensao:=copy(sdaq4.Strings[y],22,6);
969: Corrente:=copy(sdaq4.Strings[y],29,6);
970: Potencia:=copy(sdaq4.Strings[y],36,6);
971:
972: ChartT4.Series[0].AddXY(y, strtofloat(TempDT1), timetostr(now), clred);
973: ChartT4.Series[1].AddXY(y, strtofloat(TempDT2), timetostr(now), clblue);
974: ChartT4.Series[2].AddXY(y, strtofloat(Delta), timetostr(now), clblack);
975: ChartV4.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Tensao), timetostr(now), clred);
976: ChartI4.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Corrente), timetostr(now), clblue);
977:
ChartP4.Series[0].AddXY(y, strtofloat(Potencia), timetostr(now), clblack);
978: }
979: cont:=0;
980: temperatura:='';
981: temptratada:='';
982: tempint:='';
983: pos1:=SDAQ1.Count-2;
984: //pos2:=SDAQ1.Count-2;
985: //pos3:=SDAQ1.Count-2;
986: //pos4:=SDAQ1.Count-2;
987: VIP:='';
988: end;

```



```
989: end;
990: end;
991:
992: procedure TFPrincipal.Sobre1Click(Sender: TObject);
993: begin
994: FSobre.show;
995: end;
996:
997: procedure TFPrincipal.Fechar1Click(Sender: TObject);
998: begin
999: Close;
1000: end;
1001:
UPrincipal.pas 20/01/2015 22:57:18 Page 14 of 14
1002: procedure TFPrincipal.Button1Click(Sender: TObject);
1003: begin
1004: comport1.Open;
1005:
1006:
1007: comport1.WriteString('x');
1008:
1009: end;
1010:
1011: procedure TFPrincipal.Button2Click(Sender: TObject);
1012: begin
1013:
1014:
1015: comport1.WriteString('y');
1016: end;
1017:
1018: end.
1019:
1020:
```

Janela Sobre

```
1: unit USobre;
2:
3: interface
4:
5: uses
6: Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
7: Dialogs, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;
8:
9: type
10: TFSobre = class(TForm)
11: Panel1: TPanel;
12: Label1: TLabel;
13: Label2: TLabel;
14: Image3: TImage;
15: Image1: TImage;
16: Image2: TImage;
17: Button1: TButton;
18: Label3: TLabel;
19: procedure Button1Click(Sender: TObject);
20: private
21: { Private declarations }
22: public
23: { Public declarations }
24: end;
25:
26: var
27: FSobre: TFSobre;
28:
29: implementation
30:
31: {$R *.dfm}
32:
33: procedure TFSobre.Button1Click(Sender: TObject);
34: begin
35: close;
36: end;
37:
38: end.
```

Janela de Splash

```
1: unit USplash;
2:
3: interface
4:
5: uses
6: Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
7: Dialogs, jpeg, ExtCtrls, StdCtrls;
8:
9: type
10: TFSplash = class(TForm)
11: Panel1: TPanel;
12: Label1: TLabel;
13: Image1: TImage;
14: Image2: TImage;
15: Timer1: TTimer;
16: Image3: TImage;
17: procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
18: private
19: { Private declarations }
20: public
21: { Public declarations }
22: end;
23:
24: var
25: FSplash: TFSplash;
26:
27: implementation
28:
29: {$R *.dfm}
30:
31: procedure TFSplash.Timer1Timer(Sender: TObject);
32: begin
33: FSplash.Close;
34: FSplash.Free;
35: end;
36:
37: end.
```

