

INSTITUTO DE FÍSICA

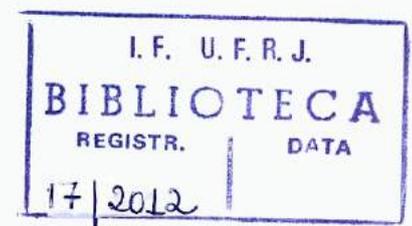
UFRJ



Projeto de instrumentação de final de curso

**O Efeito Seebeck
aplicado na Termometria.**

Jader dos Reis Borges.



Rio de Janeiro.

Maio de 2012.

Jader dos Reis Borges.

DRE: 110085469.

O EFEITO SEEBECK APLICADO NA TERMOMETRIA.

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Helio Salim de Amorim.

Rio de Janeiro.

Jader dos Reis Borges.

DRE: 110085469.

O EFEITO SEEBECK APLICADO NA TERMOMETRIA.

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do Título de Licenciado em Física.

COMISSÃO EXAMINADORA.

Professora Ligia Farias Moreira.

Professor Marco Adriano Dias.

Professor João José Fernandes de Souza.

Rio de Janeiro, 21 de maio de 2012.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter saúde e condições para ampliar meus estudos.

Ao meu pai Nilton, que sempre fez de tudo para não faltar nada a nossa família e me oferecer bons estudos, além disso, foi a pessoa que me mostrou a possibilidade de estudar em uma universidade federal.

À minha querida mãe Josiane, por oferecer o melhor suporte possível em minha vida, pelos vários terços rezados para meu bem, pelos conselhos e força quando mais precisei.

À minha namorada Dai por estar sempre ao meu lado, cuidar de mim e fazer com que não desanime.

À minha irmã Fernanda ao acreditar em mim. Além disso, me deu um presente e mais um motivo para vencer na vida, meu sobrinho e afilhado Bernardo.

Ao meu orientar, e professor Helio Salim, por estar sempre disposto para dar valiosos conselhos e oferecer seu tempo do início ao fim da monografia.

À minha madrinha Ozana meu anjo da guarda e meus avós.

À diretora Lucia, por garantir uma boa escola para mim.

Ao Pré-vestibular para Negros e Carentes tornar possível o ingresso na universidade.

A Pedro Helpa da Alutal, por disponibilizar as informações que precisava, além de enviar sem custo algum algumas ligas para termopar.

Aos técnicos do instituto de Física por fornecerem os equipamentos necessários para experiência e pela soldagem na junção dos termopares.

Aos meus amigos Sandro e Bruno por me acolherem no início da faculdade.

A todos meus familiares, amigos e professores que me deram um voto de confiança e sempre tiveram a certeza que esse dia iria chegar.

A educação, qualquer que seja ela, é sempre uma teoria do conhecimento posta em prática.

Paulo Freire.

Sumário

RESUMO	1
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	2
1.1 Objetivo	2
1.2 Motivação	5
1.3 Conceitos relevantes	4
1.4 Escala Internacional de Temperatura e tipo de sensores	6
CAPÍTULO 2 - O EFEITO SEEBECK	8
2.1 Conteúdo histórico	8
2.2 Descoberta do Efeito Seebeck	9
2.3 Termopar	12
2.4 Leis do circuito Termoelétrico	12
2.5 Compensação da temperatura ambiente	15
2.6 Tipos de termopares e suas característica	17
CAPÍTULO 3 – TERMOPAR NA SALA DE AULA	25
3.1 Construção dos kits	25
3.2 Calibração do 2º termopar	28
3.3 Uma proposta de plano de aula	34
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO	36
4.1 Conclusão	36
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	37
APÊNDICE A – ROTEIRO PARA OS ALUNOS	39

RESUMO

Nesse trabalho o foco será o Efeito Seebeck (transformação direta de Energia Térmica para Energia Elétrica) como um método para medir temperaturas, esse fenômeno deve ser discutido, preferencialmente, nas escolas técnicas.

É interessante notar que sua descoberta não é recente tem quase 200 anos. Mesmo assim na maioria dos livros de Ensino Médio o Efeito Seebeck não é comentado. Todavia, nota-se que a discussão desse tema favorece a inclusão científica e tecnológica dos alunos como preconizada pelo PCN+ e pela LDB (lei nº 9394/96).

A abordagem em sala de aula tem como meta mostrar a importância desse efeito (transformação de energia) para os alunos e uma de suas aplicações - medição de temperatura.

O Efeito Seebeck é um tema que tem necessidade de alguns conceitos introdutórios e úteis, definidos no primeiro capítulo, a fim de esclarecer possíveis confusões dos alunos e orientando o professor.

Em seguida, foi reunida toda informação necessária para o professor discutir o Efeito Seebeck em sala de aula, já que este tema não é facilmente encontrado nos livros.

Por fim, temos a proposta do plano de aula baseada no PCN+. O tema abordado é um assunto envolvido no mundo tecnológico e em desenvolvimento, nesse sentido oferecemos aos professores mais uma opção possível a ser percorrida.

O plano de aula fundamenta-se na utilização de kits (dois termopares), que utilizados em associação com a parte teórica procuram trazer a experimentação para sala de aula facilitando a construção do conhecimento discente.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.

1.1 – OBJETIVO.

Esse trabalho se concentrará no efeito Seebeck fenômeno físico relacionado à conversão de calor em eletricidade. Ele ocorre quando uma corrente elétrica passa por fios condutores distintos devido à diferença de temperatura entre as junções. Essa descoberta possibilitou a criação dos termopares que são os termômetros mais utilizados industrialmente na medição de temperatura.

De acordo com (BRASIL, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, p. 24) o ensino médio integrado ao ensino técnico, sob uma base unitária de formação geral, é uma condição necessária para fazer a “travessia para uma nova realidade” e o PCN+ (BRASIL, apud MEC, 2002, p.17) diz que o ensino médio tem objetivo de formar um aluno que perceba a importância do conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a relevância contemporânea dos processos e fenômenos físicos, cobrindo diferentes campos de fenômenos e diferentes formas de abordagem, privilegiando as características mais essenciais que dão consistência ao saber permitindo um olhar investigativo sobre o mundo real.

Portanto, o Efeito Seebeck na educação profissional técnica de nível médio, tem o propósito de apresentar aos alunos a existência de outras maneiras de medir temperatura diferente dos termômetros de mercúrio ou álcool, no nosso caso os termopares que são importantes na terminologia atual. A demonstração dessa transformação e sua utilidade gira em torno de dois kits, consistindo de termopares rústicos que podem ser feitos em casa. O primeiro tem apenas uma junção que exposta ao calor eleva a tensão no multímetro comprovando a teoria de Seebeck para os alunos. O segundo têm duas junções - uma é mantida à temperatura de referência (0°C) e a outra à temperatura que se deseja medir. Com a ajuda de um amplificador operacional e termômetro de mercúrio o termopar pode ser calibrado em torno de temperaturas conhecidas.

Esse fenômeno é desconhecido, também, por grande parte dos professores. Portanto, esse trabalho pretende agregar as informações obtidas em sites e livros criando subsídios para o docente construir um bom plano de aula.

Segundo o PCN, os alunos devem ser capazes de analisar e construir gráficos. A última parte do trabalho procura exercitar essas características através do plano de aula e dos roteiros distribuídos para os alunos.

1.2 – MOTIVAÇÃO.

Enriquecer o currículo do ensino técnico ou médio com um fenômeno científico e tecnológico utilizado para medir temperatura nas indústrias. Reforçar a ideia de unidades e grandezas, pois os alunos têm dificuldades em adequar a linguagem ao significado técnico (Silva, J. A.; Luiz A. M., p. 1).

Além disso, muitos processos envolvem o controle das propriedades físicas e químicas pela temperatura. Por isso, é importante realçar a necessidade de calibração e medição, particularmente os sensores desse estudo - os termopares.

Também foi encontrado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) e LDB a abordagem desse assunto, como pode ser visto abaixo.

Segundo o PCN+ (BRASIL, apud MEC, 2002, p. 2), a Física deve estar voltada para criação de um cidadão contemporâneo, para poder compreender, intervir e atuar na realidade. Assim, deve compreender o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico. E afirma que o ensino de física vem deixando de concentrar-se na simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações extremamente abstratas, ganhando consciência de que é preciso dar-lhe um significado, explicitando seu sentido já no momento do aprendizado, na própria escola média.

Já na LDB (Diário oficial da União, lei nº 9394, 1996, p. 13) diz: o ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos terá como finalidade a compreensão dos fundamentos científicos - tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina. E na LDB (Diário oficial da União, lei nº 9394, 1996, p. 16) diz: A educação profissional será desenvolvida em articulação com o ensino regular ou por diferentes estratégias de educação continuada, em instituições especializadas ou no ambiente de trabalho.

Verifica-se a necessidade de utilizarmos perspectivas mais culturais no ensino. A relação entre ciência e tecnologia e sua implicação na sociedade contribui e reforça conceitos importantes como: Medição, calibração, análise de gráficos e construção de tabelas.

As atividades experimentais permitem, no processo de ensino/aprendizagem, recuperar possíveis atrasos e permitem o desenvolvimento de competências, pois os discentes trabalham com medições de grandezas físicas fundamentais como temperatura, tempo e matemáticas como frações e medidas para uma finalidade prática, a calibração do termopar.

1.3 – CONCEITOS RELEVANTES.

A introdução desse fenômeno requer uma noção dos alunos sobre energia, termologia e eletricidade. Contudo, os três tópicos estão em um nível fundamental. A parte matemática é importante, mas as experiências são suficientes para a compreensão dos discentes exigindo, principalmente, regras de três para calibração do termopar.

Esses conceitos servem como guia para os professores como possíveis causadores de problemas no entendimento dos alunos. Assim, são necessárias algumas observações:

Calor é a energia em trânsito de um corpo a uma temperatura mais alta para outro a uma temperatura mais baixa. O sentido da transferência espontânea de energia é sempre do corpo que está mais quente para um vizinho mais frio (Hewitt, Paul G., Física Conceitual, 9ª Ed., 2002, Addison Wesley, p. 270).

Temperatura é a quantidade que informa quão quente ou frio é um objeto em relação a algum padrão. Mais especificamente, a temperatura é proporcional à energia cinética média “translacional” do movimento molecular (pelo qual as moléculas se movimentam de um lugar a outro). O que o termômetro de fato revela é sua própria temperatura, se conhecermos a temperatura do termômetro, então conhecemos a temperatura do corpo em contato (Hewitt, Paul G., Física Conceitual, 9ª Ed., 2002, Addison Wesley, p. 269-270).

Escala termométrica: A primeira escala de temperatura foi a de Farenheit em 1714, no qual convencionou 32°F para a temperatura de congelamento de uma mistura entre gelo e amônia e 212°F para a temperatura de ebulição da água. A diferença entre estes pontos foi dividida em 180 partes iguais a qual se deu o nome de grau Farenheit.

Mais tarde, Celsius definiu o ponto de fusão do gelo como 0°C e o ponto de ebulição da água como 100°C – medidas feitas ao nível do mar, ou seja, sobre pressão normal. O intervalo entre esses dois números é dividido em 100 partes iguais, cada uma correspondendo a 1 grau Celsius ou centígrados.

No princípio de 1800, William Thomson (Lord Kelvin) desenvolveu uma escala termodinâmica universal, baseada no coeficiente de expansão de um gás ideal. Kelvin

estabeleceu o conceito de zero absoluto e a sua escala permanece como padrão para a termometria moderna.

Zero absoluto ou Zero Kelvin é um limite onde todos os gases, não importando sua pressão inicial ou seu volume inicial, variam em $1/273$ de seu volume a 0°C para cada variação de 1 grau Celsius em sua temperatura, desde que a pressão se mantenha constante. Assim, se um gás a 0°C fosse resfriado em -273°C , ele se contrairia, de acordo com essa lei, em $273/273$ de seu volume a 0°C , com o quê seu volume seria reduzido à zero. Obviamente, não podemos ter na natureza uma substância ocupando um volume nulo. Qualquer gás, contido em um recipiente qualquer com volume fixo, varia em $1/273$ de seu valor a 0°C para cada alteração de 1 grau Celsius em sua temperatura (Hewitt, 2009, p. 312-313).

$$\text{Volume}_{273\text{k}} = 1 - \frac{273}{273} = 0.$$

Na prática, todo gás se liquefaz antes que esfrie até essa temperatura. Apesar disso, essas diminuições em $1/273$ para cada diminuição de um grau sugere a ideia de que existe um mínimo para a temperatura: -273°C . De modo que existe um limite para o frio. Quando os átomos e moléculas perdem toda sua energia cinética disponível, eles atingem a temperatura de **zero absoluto**, mais precisamente $-273,15^{\circ}\text{C}$.

As equações de conversão das unidades mais usadas na termometria moderna são:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32) \cdot 5}{9} ; K = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

Existem outras escalas porem são de pouco uso.

Diferença de potencial (V) Considerando um corpo eletrizado criando um campo elétrico no espaço em sua volta. Considere dois pontos, A e B, neste campo elétrico. Se uma carga de prova positiva q for abandonada em A, sobre ela atuará uma força elétrica \vec{F} devida ao campo. Suponha ainda que, sob a ação desta força, a carga se desloque de A para B.

Como sabemos neste deslocamento a força elétrica estará realizando um trabalho, que vamos designar por T_{AB} . Em outras palavras, T_{AB} representa certa quantidade de energia que a força elétrica \vec{F} transfere para a carga q em seu deslocamento de A para B.

Uma grandeza muito importante no estudo dos fenômenos elétricos esta relacionada com este trabalho. Esta grandeza é denominada diferença de potencial entre os pontos A e B, sendo representado por $V_A - V_B$ (NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P.; RAMALHO JR, Fundamentos da Física Moderna – vol. 3, 1985, p. 49-50).

$$V_A - V_B = \frac{T_{AB}}{q}$$

Corrente elétrica Considerando um condutor metálico em equilíbrio eletrostático os elétrons livres estão em movimento desordenado, mas sem saírem do condutor. Todos os pontos do condutor têm o mesmo potencial elétrico.

Todavia, submetido à ddp $V_a - V_b$, que origina, no interior do condutor, o campo elétrico, cujo sentido é do polo positivo para o negativo. Nesse campo elétrico, cada elétron fica sujeito a uma força elétrica $\vec{F} = q\vec{E}$ de sentido oposto ao vetor \vec{E} , pois a carga q do elétron é negativa. Sob a ação da força \vec{F} , os elétrons no comportamento médio alteram suas velocidades e adquirem movimento ordenado cuja velocidade média tem direção e sentido da força \vec{F} . Esse movimento ordenado constitui a corrente elétrica (NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P.; RAMALHO JR, Fundamentos da Física Moderna – vol. 3, 1985, p. 102).

1.4 – ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA E TIPOS DE SENSORES.

Também, como parte introdutória do assunto sobre termopares, é importante a explicação para os alunos sobre a forma como a comunidade científica determinou as escalas de temperatura facilitando o entendimento termodinâmico. Uma das utilidades é a calibração dos diversos tipos de termômetros.

Então, foi criada uma escala baseada em fenômenos de mudança de estado físico de substâncias puras, elas ocorrem em condições únicas de temperatura e pressão. São chamados de pontos fixos de temperatura.

Esta escala é chamada de IPTS – Escala Prática Internacional de Temperatura. A primeira escala surgiu em 1927, modificada em 1948 (IPTS-48). Em 1960 mais modificações foram feitas e em 1968 uma nova IPTS foi publicada (IPTS-68).

A ainda atual IPTS-68 cobre uma faixa de $-259,34^{\circ}\text{C}$ a $1064,34^{\circ}\text{C}$ baseada em pontos de fusão, ebulição e pontos triplos de certas substâncias puras como exemplo, o ponto de fusão de alguns metais puros.

Hoje já existe a IPTS, definida em fenômenos determinísticos de temperatura e que definiu alguns pontos fixos de temperatura.

Tabela 1 – Aperfeiçoamento da escala prática internacional de temperatura.

Pontos Fixos	IPTS-68	IPTS-90
Ebulição do oxigênio	-182,962°C	-182,954°C
Ponto triplo da água	+0,010°C	+0,010°C
Solidificação do estanho	+231,968°C	+231,928°C
Solidificação do zinco	+419,580°C	419,527°C
Solidificação da prata	+961,930°C	+961,780°C
Solidificação do ouro	+1064,430°C	+1064,180°C

Assim como a determinação dos pontos fixos temos os sensores, detectores ou elementos primários de temperatura. Ou seja, qualquer grandeza (comprimento, pressão, volume etc.) que altera naturalmente com a alteração de temperatura é chamada de **grandeza termométrica**.

Como exemplo poderíamos citar a dilatação do mercúrio (a grandeza termométrica é o comprimento) em um termômetro de vidro, o mercúrio é chamado de **substância termométrica**.

Dos inúmeros tipos de sensores de temperatura existentes, os mais utilizados são os termopares e as termoresistências.

Os termopares são sensores de maior uso industrial para medição de temperatura. Eles cobrem uma faixa bastante extensa que vai de -200°C a 2300°C aproximadamente, com uma boa precisão, tudo isto a um custo que se comparado com outros tipos de sensores de temperatura são mais econômicos (CHATLE M. V.; Divisão de Metrologia).

CAPÍTULO 2 – O EFEITO SEEBECK.

2.1 – CONTEÚDO HISTÓRICO.

A termoeletricidade tem a sua origem em Alessandro Volta (1800), físico italiano. Ele concluiu que a eletricidade causadora dos espasmos nas pernas de sapo, estudadas por Luigi Galvani (1780), era devida a um contato entre dois metais diferentes. Essa conclusão foi a precursora do princípio do termopar.

Após a descoberta de Volta, outros cientistas passaram a pesquisar os efeitos termoelétricos, dos quais podem ser destacados Thomas Seebeck (1821), Jean Peltier (1834) e William Thomson (Lord Kelvin) (1848-1854), e que deram origem às denominações dos três efeitos básicos da termometria termoelétrica. Estes efeitos podem ser relacionados entre si e são conhecidos como efeitos termoelétricos porque envolvem temperatura e eletricidade.

Os três efeitos referidos são o efeito Seebeck, que é o relevante para os termopares, e os efeitos Peltier e Thomson, que descrevem o transporte de energia por calor por intermédio de uma corrente elétrica. Os efeitos Peltier e Thomson não são importantes na metrologia da temperatura e quando presentes originam erros na medição (CHATLE M. V.; Divisão de Metrologia).



Figura 1 – Thomas Johann Seebeck (http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Johann_Seebeck).

Thomas Johann Seebeck nasceu em Reval (Tallin agora), a capital da Estônia, que era então parte da Prússia Oriental, em 09 de abril de 1770, em uma rica família mercante. Formou-se em medicina nas Universidades de Berlim e Göttingen em 1802, mas ele preferiu a pesquisa em física para a prática da medicina, enveredou para o ensino e pesquisa como uma carreira. Assim, ficou mais conhecido como físico.

Na Universidade de Jena tornou-se amigo de Johann von Goethe com quem trabalhou na teoria da cor e do efeito de luz. Após a publicação de alguns trabalhos, Seebeck retornou à Universidade de Berlim por volta de 1818, onde trabalhou de forma independente sobre a magnetização de ferro e aço quando uma corrente elétrica passa através dos condutores.

Os efeitos magnéticos de eletricidade em ferro e aço acabavam de ser descobertos por Arago e Davy. Em numerosos experimentos sobre a magnetização de metais, observaram a reação anômala do ferro magnetizado em brasa, o que acabou resultando no fenômeno agora conhecido como histerese.

2.2 – DESCOBERTA DO EFEITO SEEBECK.

Em 1820, Seebeck começou a pesquisar uma relação entre eletricidade e calor. Em 1821, juntou dois fios de metais diferentes (fio de cobre e fio de bismuto) para formar um circuito. Ele, então, descobriu acidentalmente que ao aquecer uma junção a uma temperatura elevada, enquanto a outra permanece em uma temperatura mais baixa é observado um campo magnético ao redor do circuito de diferentes temperaturas. Ele não reconheceu que uma corrente elétrica estava sendo gerada quando o calor era aplicado à junção dos metais. Usou o termo “correntes termomagnéticas” para expressar sua descoberta. Durante os dois anos seguintes, 1822-1823, relata suas observações na Academia Prussiana de Ciências, onde ele descreve essa observação como “a polarização magnética de metais e minérios produzidos por uma diferença de temperatura”.

A descoberta do efeito termoelétrico é creditado a Seebeck, no entanto, ele usou sua descoberta incorretamente por concluir, através dela, que o campo magnético da Terra foi produzido pela diferença de temperatura entre os dois polos e o equador. Esta é a teoria de Seebeck – o gradiente de temperatura magnetiza diretamente os metais, o metal recém-magnetizado apresenta um campo magnético que influencia a agulha magnética próxima que

desvia – não há corrente elétrica envolvida. Seebeck se irrita bastante com a comunidade científica por sugerir que a variação de temperatura gera uma corrente elétrica, essa corrente produz, então, um campo magnético. Ele ataca essa posição reclamando que a experiência de Oersted cegou os cientistas, pois interpretam tudo à luz de correntes elétricas causando campos magnéticos e são incapazes de raciocinar de outra forma. Mas, o argumento de Seebeck não consegue explicar por que não há campo magnético produzido pela variação de temperatura quando o circuito é quebrado por materiais diferentes que são, no entanto, bons condutores térmicos. Então, o ponto de vista termoeletrico prevalece, e é confirmado mais tarde que uma corrente elétrica é de fato produzida pela diferença de temperatura entre as duas junções de um circuito bi metálico fechado.

Seebeck publicou suas descobertas sobre termomagnetismo em 1822-1823¹.

Ele experimentou formas diferentes do mesmo metal e metais diferentes e descobriu os efeitos da corrente elétrica ou, no seu caso, desvios de sua agulha magnética quando a união dos metais é aquecida.

Logo percebeu que a corrente elétrica flui continuamente em torno do circuito criado quando dois fios de metais diferentes forem unidos por uma junção soldada e depois aquecida. Este fluxo contínuo de corrente com o calor era diferente do que o de corrente voltaica que ele estava tão familiarizado.

Ele continuou a fazer experimentos sobre esse assunto, soldou uma barra de antimônio a uma barra de bismuto. Quando a junção era aquecida a agulha magnética era desviada do bismuto para o antimônio, quando resfriada ia à direção oposta. Mais tarde, a observação foi feita de tal modo que, os metais foram arranjados de acordo com suas propriedades em relação ao seu aquecimento e uma série foi formada: antimônio, ferro, zinco, prata, ouro, chumbo, mercúrio, cobre, platina e bismuto. Quanto maior o contraste entre os metais, maior será a força eletromotriz. Antimônio e bismuto formaram a melhor junção.

Seebeck também formou um circuito composto de cobre e bismuto em que ele tinha uma junção dos metais em uma mão, observou que a agulha desviava a partir da diferença de temperatura das junções causada pelo calor de sua mão.

Seebeck estabeleceu com seus termoelementos uma série de “tensões termotérmicas”. Essas “tensões” trabalhadas por Seebeck, foram mais tarde reconhecidas como forças eletromotrizes termoeletricas (ϵ), depois dos trabalhos do físico alemão Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899), desenvolvidos a partir de sua tese de doutorado defendida na

¹Como "Magnetische Plarisation der Matalle und durch erze Temperatur-Differenz. Abhandlungen der
10

Universidade de Halle, em 1839, e publicados em 1840 e 1842. Com o aparecimento dessa tensão nos termoelementos cria-se precedente para construção de termômetros, os termopares (SEEBECK História, p. 1).

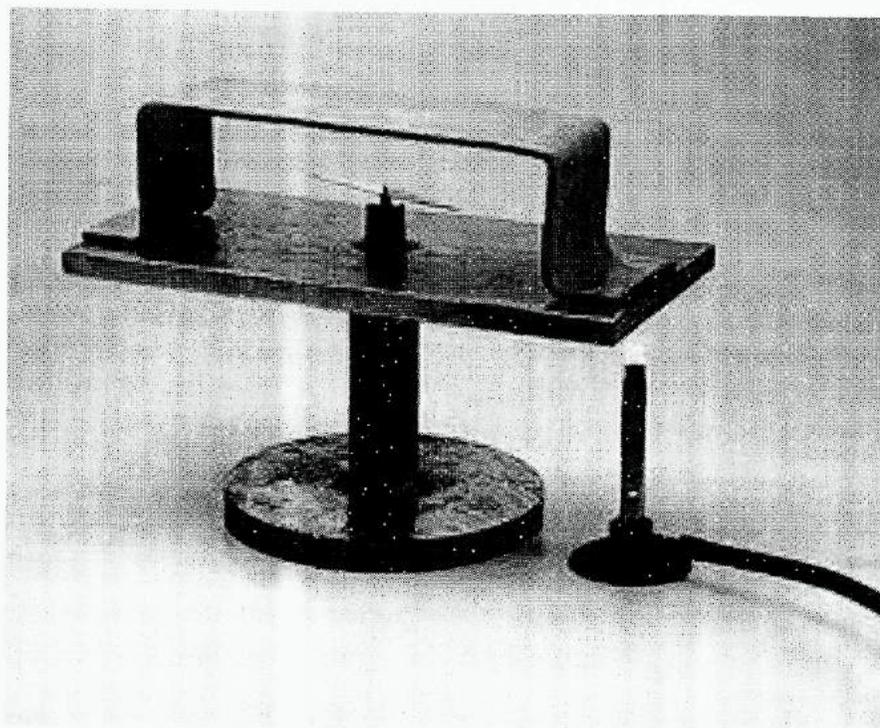


Figura 2 – Aparelho usado por Seebeck na descoberta do efeito termomagnético (<http://education.net/physics.htm>).

Além do impacto da termoeletricidade na teoria, esse efeito é usado em termopares para medição de temperatura. Mesmo após a publicação de Hankel, a observação de Seebeck manteve-se bastante obscurecida por cem anos até que Shockley e associados inventaram os semicondutores.

Segundo (SBF, p. 9)² Seebeck se tornou membro da Academia de Ciências de Berlim e da Academia Francesa de Ciências em 1825. Thomas Seebeck com 61 anos morreu em Berlim, na Alemanha, em 10 de Dezembro de 1831.

² Disponível em: <<http://faraday.fc.up.pt/wyp/4/Dia-9.html>>.

2.3 – TERMOPAR.

O aquecimento de dois metais diferentes com temperaturas diferentes em suas extremidades gera o aparecimento de uma diferença de potencial (da ordem de mV). Este princípio conhecido como efeito Seebeck propiciou a utilização de termopares para medição de temperatura.

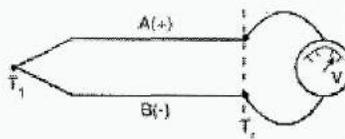


Figura 3 – Termopar (<http://www.iope.com.br>).

De acordo com (AMARAL, p. 70) um termopar ou par termométrico consiste de dois condutores metálicos de natureza distinta, na forma de metais puros ou ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo ao qual se dá o nome de junção de medição; a outra extremidade, junção de referência é levada ao instrumento medidor por onde flui a corrente gerada.

Convencionou-se dizer que o metal A é o positivo e B é negativo, pois a tensão e corrente gerada são na forma contínua (cc).

Quando a temperatura da junção de referência (T_r) é mantida constante, verifica-se que a F.E.M. térmica (E_{AB}) é uma função da temperatura da junção de medição (T_1). Isto permite utilizar este circuito como um medidor de temperatura, pois conhecendo a T_r e a F.E.M. gerada, determina-se a T_1 .

$$E_{AB} = f(\Delta T) \text{ com } E_{AB} = E_{T_1} - E_{T_r}.$$

2.4 - LEIS DO CIRCUITO TERMOELÉTRICO.

a) LEI DO CIRCUITO HOMOGÊNIO.

A F.E.M. gerada por um termopar depende única e exclusivamente da composição química dos dois metais e das temperaturas entre as duas junções; ou seja, a tensão gerada independe do gradiente de temperatura ao longo dos fios (AMARAL, p. 71-72).

Uma aplicação desta lei é que podemos medir temperaturas em pontos bem definidos com os termopares, pois o importante é a diferença de temperatura entre as suas junções.



Figura 4 – Circuito homogêneo (<http://www.iope.com.br>).

b) LEI DOS METAIS INTERMEDIÁRIOS.

A F.E.M. gerada por um par termoeletrico não será alterada se inserirmos em qualquer ponto do circuito, um metal genérico diferente dos que compõem o sensor, desde que as novas junções formadas sejam mantidas na mesma temperatura.

Uma aplicação prática desta lei é o uso dos contatos de latão ou cobre no bloco de ligação, para a interligação do termopar ao seu cabo (AMARAL, p. 73).

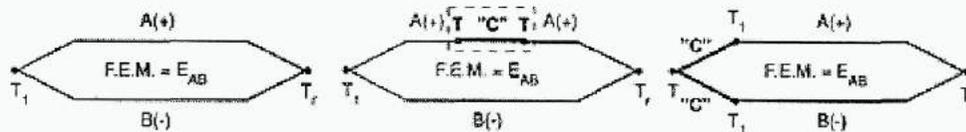
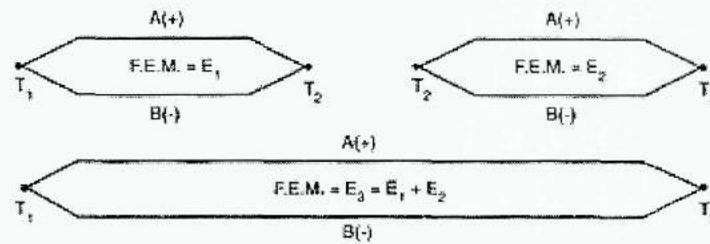


Figura 5 – Metal intermediário (<http://www.iope.com.br>).

c) LEI DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS.

A F.E.M. gerada em um circuito termoeletrico com suas junções às temperaturas T_1 e T_3 respectivamente, é a soma algébrica da F.E.M. gerada com as junções às temperaturas T_1 e T_2 e a F.E.M. do mesmo circuito com as junções às temperaturas de T_2 e T_3 .

Uma consequência desta lei é o uso dos cabos compensados, que tendo as mesmas características termoeletricas do termopar, podem ser introduzidos no circuito sem causar erros no sinal gerado (AMARAL, p. 72).



$$\begin{aligned} E_1 &= E_{T1} - E_{T2} \\ E_2 &= E_{T2} - E_{T3} \\ E_3 &= E_{T1} - E_{T3} \end{aligned}$$

se somarmos $E_1 + E_2$ temos:

$$\begin{aligned} E_1 + E_2 &= E_{T1} - E_{T2} + E_{T2} - E_{T3} = E_{T1} - E_{T3} \\ E_1 + E_2 &= E_{T1} - E_{T3} = E_3 \end{aligned}$$

portanto:

$$E_3 = E_1 + E_2$$

Figura 6 – Temperatura intermediária (<http://www.iope.com.br>).

d) ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DOS TERMOPARES.

A associação em série é utilizada quando se deseja ampliar o sinal elétrico gerado pelo termopar. A aplicação mais comum desse tipo de associação é encontrada nas termopilhas dos pirômetros de radiação, pois como a intensidade de calor que atinge a junta de medida é muito pequena, precisamos de uma montagem em série, para que a tensão elétrica gerada seja suficiente para sensibilizar os aparelhos de medição (AMARAL, p. 73).

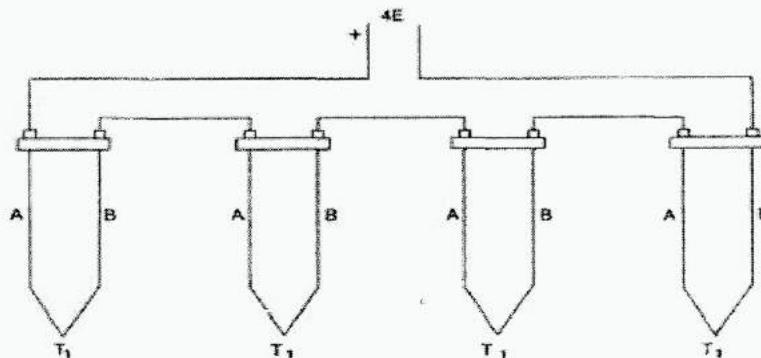


Figura 7 – Associação em série. O sinal de um termopar é a F.E.M. “E”. A associação em série com 4 termopares iguais será “4E” (<http://www.iope.com.br>).

e) ASSOCIAÇÃO EM PARALELO DOS TERMOPARES.

Para medirmos a temperatura média ao longo de um grande duto, em grandes fornos ou equipamentos onde a medida pontual não é significativa, podemos usar os termopares,

ligando certo número deles em paralelo. A tensão elétrica no instrumento ou no ponto de conexão em paralelo é a média daquela produzida pelo número de termopares utilizados. Esta voltagem é igual à soma das voltagens individuais, dividida pelo número de termopares ou é a mesma tensão elétrica que poderia ser gerada por um único termopar, na temperatura média.

As ligações em paralelo dos termopares para medidas de temperatura média são vantajosas, isto porque a calibração do instrumento pode ser a mesma para um único termopar.

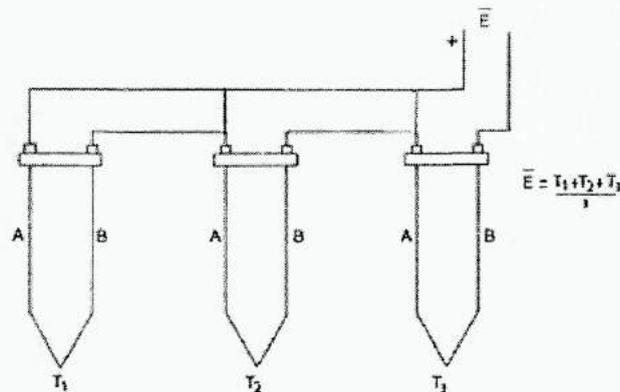


Figura 8 – Associação em paralelo. A F.E.M. “ \bar{E} ” é a média das tensões geradas pelos termopares (<http://www.iope.com.br>).

2.5 - COMPENSAÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE.

Como dito antes, para se usar o termopar como medidor de temperatura, é necessário conhecer a F.E.M. gerada e a temperatura da junção de referência T_r , para sabermos a temperatura da junção de medição T_1 .

$$E = E_{T_1} - E_{T_r}$$

Portanto não podemos encontrar a temperatura T_1 a não ser que saibamos quanto é a temperatura T_r .

Uma maneira de se determinar a temperatura T_r (ponto de conexão do termopar ao instrumento de medida) é forçá-la para um valor conhecido, como por exemplo, 0°C .

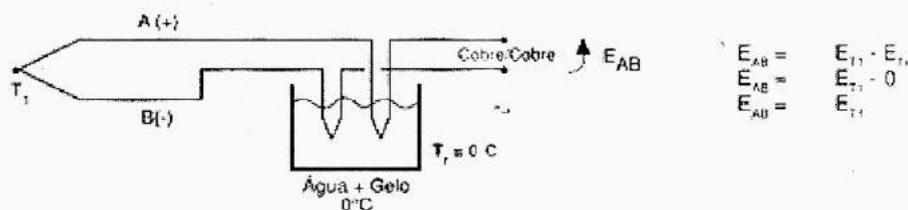


Figura 9 – termopar usando compensação de temperatura (<http://www.iope.com.br>).

Ao colocarmos as extremidades do termopar a zero grau (banho de gelo), o sinal gerado pelo sensor só dependerá da temperatura T_1 do meio a ser medido, pois a tensão gerada a 0° é zero em mV. Então a F.E.M. lida no instrumento será diretamente proporcional à temperatura T_1 (junção de medição).

$$E = E_{T_1} - E_{T_r}$$

$$E = E_{T_1} - E_{0^\circ C} \text{ (como } E_{0^\circ C} = 0 \text{ mV)}$$

$$E = E_{T_1} \rightarrow T_1$$

Portanto acha-se o valor da temperatura T_1 .

O banho de gelo ainda é muito usado em laboratórios e indústrias, pois consiste num método relativamente simples e de grande precisão.

Hoje dispositivos alternativos foram desenvolvidos para simular automaticamente uma temperatura de $0^\circ C$, chamada de compensação automática da junção de referência ou de temperatura ambiente. Nesses instrumentos encontra-se um sensor de temperatura que pode ser um termistor (resistência feita de um material semicondutor), diodo, transistor ou mesmo um circuito integrado que mede continuamente a temperatura ambiente e suas variações, adicionando ao sinal que chega do termosensor uma tensão elétrica, na faixa do milivolt, correspondente à diferença de temperatura ambiente para a temperatura de $0^\circ C$.

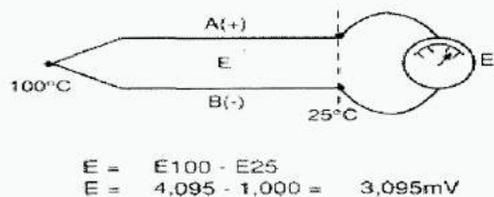


Figura 10 – Termopar tipo K sujeito a $100^\circ C$ na junção de medição e $25^\circ C$ na interface do instrumento com o termopar (<http://www.iope.com.br>).

Se não existisse a compensação, o sinal de $3,095 \text{ mV}$ seria transformado em indicação de temperatura pelo instrumento e corresponderia a aproximadamente $76^\circ C$; bem diferente dos $100^\circ C$ ao qual o termopar está submetido (erro de $-24^\circ C$).

Como o instrumento medidor está incorporado há um sistema de compensação da temperatura ambiente, este gera um sinal como se fosse outro termopar que chamamos de E_1 ;

$$E_1 = E_{25} - E_0 = E_{25}$$

$$E_1 = 1,000 \text{ mV (sinal gerado pelo circuito de compensação)}$$

O sinal total que será convertido em temperatura pelo instrumento será a somatória do sinal do termopar e da compensação, resultando na indicação correta da temperatura na qual o termopar está submetido (independendo da variação da temperatura ambiente).

$$E_{total} = E + E_1$$

$$E_{total} = 3,095 + 1,000 = 4,095 \text{ mV}$$

$$E_{total} = 4,095 \text{ mV} \rightarrow 100^\circ\text{C}$$

A indicação no instrumento será de 100°C , que é a temperatura do processo (junção de medição do termopar).

2.6 – TIPOS DE TERMOPARES E SUAS CARACTERÍSTICAS³.

Com relação a D.D.P. x temperatura de um termopar não é linear. A escala gráfica acompanha uma curva, em instrumentos digitais usa-se ou a tabela de correlação D.D.P. x temperatura, armazenada em memória ou uma equação matemática que descreve a curva do sensor. Esta equação é um polinômio, que a depender da precisão requerida pode alcançar uma ordem de até 9º grau. Todavia, na calibração dos termopares em sala de aula pode-se aproximar esse polinômio para uma função de 1º grau com intenção de facilitar a compreensão dos alunos.

A equação matemática genérica de um termopar:

$$T = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n$$

Onde:

T: a temperatura.

a: o coeficiente de cada termopar.

x: a milivoltagem gerada.

n: a ordem do polinômio.

Tabela 2 – Coeficientes de vários tipos de termopar industriais (IOPE, Instrumentos de Precisão LTDA.).

	Tipo E	Tipo J	Tipo K	Tipo R	Tipo S	Tipo T
	Níquel-Cromo(+) Versus Cobre- Níquel(-)	Ferro(+) Versus Cobre- Níquel(-)	Níquel- Cromo(+) Versus Níque- Alumínio(-)	Platina – 13% Ródio Versus Platina(-)	Platina – 10% Ródio(+) Versus Platina(-)	Cobre(+) Versus Cobre- Níquel(-)
	-100°C a 1000°C ±0.5°C 9º ordem	0°C a 760°C ±0.1°C 5º ordem	0°C a 1370°C ±0.7°C 8º ordem	0°C a 1000°C ±0.5°C 8º ordem	0°C a 1750°C ±1°C 9º ordem	-160°C a 400°C ±0.5°C 7º ordem
a_0	0,104967248	-0,048868252	0,226584602	0,263632917	0,927763167	0,100860910
a_1	17189,45282	19873,14503	24152,10900	179075,491	169526,5150	25727,94369

³ IOPE, Instrumentos de Precisão LTDA. Disponível em <http://www.iope.com.br/index_port.htm>.

a_2	-282639,0850	-218614,5353	67233,4248	-48840341,37	-31568363,94	-767345,8295
a_3	12695339,5	11569199,78	2210340,682	1,90002E+10	8990730663	78025595,81
a_4	-448703084,6	-264917531,4	-860963914,9	-4,82704E+12	-1,63565E+12	-9247486589
a_5	1,10866E+10	2018441314	4,83506E+10	7,62091E+12	1,88027E+14	6,97688E+11
a_6	-1,76807E+12		-1,18452E+12	-7,20026E+16	-1,37241E+16	-2,66192E+13
a_7	1,71842E+12		1,38690E+13	3,71496E+18	6,17501E+17	3,94078E+14
a_8	-9,19278E+12		-6,33708E+13	-8,03104E+19	-1,56105E+19	
a_9	2,06132E+13				1,69535E+20	

Com o avanço da tecnologia foram desenvolvidas diversas combinações de pares de ligas metálicas com um objetivo de obter uma alta potência termoelétrica (mV/°C) para que seja detectável pelos instrumentos de medição, aliando-se às características de homogeneidade dos fios, resistência à corrosão, relação razoavelmente linear entre temperatura e tensão entre outros, para que se tenha uma maior vida útil do mesmo.

Podemos dividir os termopares em três grupos:

- Termopares de Base Metálica ou Básicos.
- Termopares Nobres ou a Base de Platina.
- Termopares Novos.

TERMOPARES DE BASE METALICA.

Os termopares de base metálica ou básicos são os termopares de maior uso industrial, em que os fios são de custo relativamente baixo e sua aplicação admite um limite de erro maior. As nomenclaturas adotadas estão de acordo com as normas IEC 584-2 de julho de 1982.

A escolha de um termopar depende da faixa de precisão a ser lida e deve ser feita considerando todas as possíveis variáveis e normas exigidas pelo processo. Portanto, cada tipo de termopar é aconselhado para determinada necessidade.

O professor pode mostrar aos alunos que, tão importante quanto a junção de metais diferentes também existe a combinação de alguns elementos gerando ligas, essas ligas aperfeiçoam a utilização dos termopares.

Tipo T.

- Composição: Cobre (+) / Cobre – Níquel (-)

O fio negativo Cobre – Níquel é conhecido comercialmente como Constantan.

Faixa de utilização: -200°C a 350°C

- Características:

Estes termopares são resistentes a corrosão em atmosferas úmidas e são adequados para medidas de temperaturas abaixo de zero. Seu uso no ar ou em ambientes oxidantes é limitado a um máximo de 350°C devido à oxidação do fio de cobre. Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutoras (rica em Hidrogênio, monóxido de Carbono) e no vácuo: na faixa de -200°C a 350°C.

- Identificação da polaridade:

O Cobre (+) é avermelhado e o Cobre-Níquel (-) não.

- Aplicação:

Sua maior aplicação está em indústrias de refrigeração e ar condicionado e baixas temperaturas em geral.

Tipo J.

- Composição: Ferro (+) / Cobre – Níquel ou Constantan (-).

- Faixa de utilização: -40°C a 750°C.

- Características:

Estes termopares são adequados para o uso no vácuo, em atmosferas oxidantes, redutoras e inertes.

A taxa de oxidação do ferro é rápida acima de 540°C e o uso em tubos de proteção é recomendado para dar uma maior vida útil em altas temperaturas.

O termopar do tipo J não deve ser usado em atmosferas sulfurosas acima de 540°C.

O uso em temperaturas abaixo de 0°C não é recomendado, devido à rápida ferrugem e quebra do fio de ferro, torna seu uso em temperatura negativa menor que o tipo T.

O termopar tipo J tem custo baixo e é um dos mais utilizados industrialmente.

- Aplicação:

Indústrias em geral em até 750°C.

Tipo E.

- Composição: Níquel-Cromo (+) / Cobre-Níquel (-).

O fio positivo Níquel-Cromo é conhecido como Cromel.

- Faixa de utilização: -200°C a 900°C.

- Características:

Estes termopares podem ser utilizados em atmosferas oxidantes e inertes. Em atmosferas redutoras, alternadamente oxidante e redutora e no vácuo, não devem ser utilizados por perderem suas características termoeletricas.

É adequado para uso em temperaturas abaixo de zero, desde que não esteja sujeito a corrosão em atmosferas úmidas.

O termopar tipo **E** é o que apresenta maior geração de V/°C do que todos os outros termopares, o que o torna útil na detecção de pequenas alterações de temperatura.

- Identificação da polaridade:

O Níquel-Cromo (+) é mais duro que o Cobre-Níquel (-).

- Aplicação:

Uso geral até 900°C.

Os termopares tipo **T, J e E** têm similaridades⁴.

Tipo K.

- Composição: Níquel-Cromo (+) / Níquel-Alumínio (-).

O fio negativo é conhecido como Alumel. O Alumel é uma liga de níquel, alumínio, Manganês e Silício.

- Faixa de utilização: -200°C a 1200°C.

- Características:

Os termopares tipo **K** são recomendáveis para uso em atmosferas oxidantes ou inertes. Por causa de sua resistência em oxidação são melhores que os tipos **T, J e E**, por isso são largamente usados em temperaturas superiores a 540°C.

Podem ser usados ocasionalmente em temperaturas abaixo de zero grau.

O termopar de Níquel-Cromo ou Cromel / Níquel-Alumínio ou Alumel como também é conhecido, não deve ser utilizado em:

Atmosferas redutoras ou alternadamente oxidante e redutora.

Atmosferas sulfurosas, pois o enxofre ataca ambos os fios e causa rígida ferrugem quebrando o termopar.

Vácuo, exceto por curtos períodos de tempo, pois o cromo do elemento positivo pode vaporizar causando descalibração do sensor.

Atmosferas que facilitam a corrosão e são chamadas de oxidante verde ocorrem quando a atmosfera ao redor do termopar contém pouco oxigênio, como por exemplo, dentro de um tubo de proteção longo de pequeno diâmetro e não ventilado.

Quando isto ocorre os fios ficam esverdeados e quebradiços, ficando o fio positivo (Cromel) magnético e causando total descalibração e perdas de suas características.

⁴ Eles têm como fio negativo a liga Constantan, composto de cobre e níquel, porém a razão entre estes dois elementos varia de acordo com as características do fio positivo (Cobre, Ferro e Níquel-Cromo). Portanto a Constantan do fio negativo não pode ser utilizado em um fio positivo diferente do qual ele foi projetado.

Essa corrosão pode diminuir aumentando o fornecimento de oxigênio. Ou diminuindo a porcentagem de oxigênio para um valor abaixo da qual proporcionará a corrosão, usando um elemento que o absorva como uma barra de titânio.

- Identificação de polaridade:

O Níquel-Cromo (+) não atrai imã e o Níquel-Alumínio (-) é levemente magnético.

- Aplicação:

É o termopar mais utilizado na indústria em geral devido a grande faixa de atuação até 1200°C.

TERMOPARES NOBRES OU A BASE DE PLATINA.

Esses termopares possuem um custo elevado e exigem instrumentos receptores de alta sensibilidade. Porém devido à baixa potência termoelétrica apresentam uma altíssima precisão, dada à homogeneidade e pureza dos fios termopares.

Tipo S.

- Composição: Platina 90%-Ródio 10% (+) / Platina (-).

Tipo R.

- Composição: Platina 87% - Ródio 13% (+) / Platina (-).

- Faixa de utilização: 0 a 1600°C.

- Características:

Os termopares tipo **S** e **R** são recomendados para uso em atmosferas oxidantes ou inertes.

Os termopares tipo **S** e **R** não devem ser usados no vácuo, em atmosferas redutoras ou com vapores metálicos a menos que bem protegidos com tubos e isoladores cerâmicos de alumina.

A exceção é o uso do tubo de proteção de Platina (tubete) que por ser do mesmo material não contamina os fios e dá proteção necessária aos termoelementos.

Estes sensores apresentam grande precisão e estabilidade em altas temperaturas, sendo usados como sensor padrão na aferição de outros termopares.

Não deve ser utilizado em temperaturas abaixo de zero, pois sua curva F.E.M. x temperatura varia irregularmente.

A diferença entre os termopares do tipo **S** e **R** está somente na potência termoelétrica gerada. O tipo **R** gera um sinal aproximadamente 11% maior que o tipo **S**.

- Identificação de polaridade:

Os fios positivos são mais duros que os fios de Platina pura (fio negativo).

Aplicação:

Seu uso está em processos com temperatura elevada ou onde é exigido grande precisão como indústrias de vidro, cerâmicas, siderúrgicas entre outras.

Tipo B.

- Composição: Platina 70% - Ródio 30% (+) / Platina 94% - Ródio 6% (-).

- Faixa de utilização: 600°C a 1700°C.

- Características:

O termopar tipo **B** é recomendado para uso em atmosferas oxidantes ou inertes. É adequado para certos períodos em vácuo.

Não deve ser aplicado em atmosferas redutoras e que contém vapores metálicos, requerendo tubo de proteção cerâmico como os tipos **S** e **R**.

O tipo **B** possui maior resistência mecânica que os tipos **S** e **R** e sob certas condições apresenta menor desvio de calibração que o **S** e **R**.

Sua potência termoelétrica é muito baixa, o que torna sua saída em temperaturas de até 50°C quase nula.

É o único termopar que não necessita de cabo compensado para sua interligação.

- Identificação da polaridade:

O fio positivo é mais duro que o Platina 94% - Ródio 6% (-).

Aplicação:

Seu uso é em altas temperaturas como indústria de vidros e outras.

TERMOPARES NOVOS.

Ao longo dos anos, foram desenvolvidos mais termopares para atender as necessidades que os antigos não conseguiam como maior estabilidade a altas temperaturas, excelente resistência à oxidação e maior vida útil. Alguns destes termopares não estão normalizados e não são fabricados no Brasil.

Platina 60% - Ródio 40% (+) / Platina 80% - Ródio 20% (-).

É usado continuamente até 1800°C ou ocasionalmente a 1850°C, em substituição ao tipo **B**.

Não recomendado para esferas redutoras.

Iridio 60% - Ródio 40% (+) / Iridio (-).

Termopares feitos com proporções variáveis destes dois elementos podem ser utilizados até 2000°C em atmosferas inertes ou no vácuo. Não recomendado para atmosferas redutoras ou oxidantes.

Platinel I.

Paládio 83% - Platina 14% - Ouro 3% (+) / Ouro 65% - Paládio 35% (-).

Atuando em uma faixa de 1250°C, se aproxima bastante do tipo **K**. Por sua composição conter somente metais nobres, apresenta excelente estabilidade em atmosfera oxidante, porém não recomendável em atmosfera redutora ou em vácuo.

Tungstênio 95% - Rhênio 5% / Tungstênio 74% - Rhênio 26%.

Seu símbolo não normalizado é **C**. Este termopar pode ser utilizado continuamente até 2300°C e por outros períodos até 2700°C no vácuo, na presença de hidrogênio ou gás inerte. Não recomendado em atmosfera oxidante.

Sua principal aplicação é em reatores nucleares.

Variações na composição das ligas existem como.

Tungstênio (+) / Tungstênio 74% - Rhênio 26%.

Símbolo **G** (não oficial).

Tungstênio 97% - Rhênio 3% (+) / Tungstênio 75% - Rhênio 25%.

Símbolo **D** (não oficial).

Níquel - Cromo (+) / Ouro - Ferro (-).

Usado em temperaturas criogênicas até -268°C a 15°C.

Tipo N.

Níquel - Cromo - Silício (Nicrosil) (+) / Níquel - Silício (Nisil) (-).

Este termopar desenvolvido na Austrália tem sido aceito e aprovado mundialmente estando inclusive normalizado pela ABNT.

Este novo par termoeletrico é um substituto ao termopar **K**, apresentando um faixa de temperatura extensa de -200°C a 1200°C tem uma menor potência termoeletrica em relação ao tipo **K**, porém uma maior estabilidade, excelente resistência à corrosão e maior vida útil. Seu uso não é recomendado no vácuo.

Os termopares quando comprados, em geral vem com suas características, curvas de calibração e tabelas de conversão V x T que seguem uma tendência esperada com padrão linear. Colocadas no computador é possível uma leitura direta da temperatura.

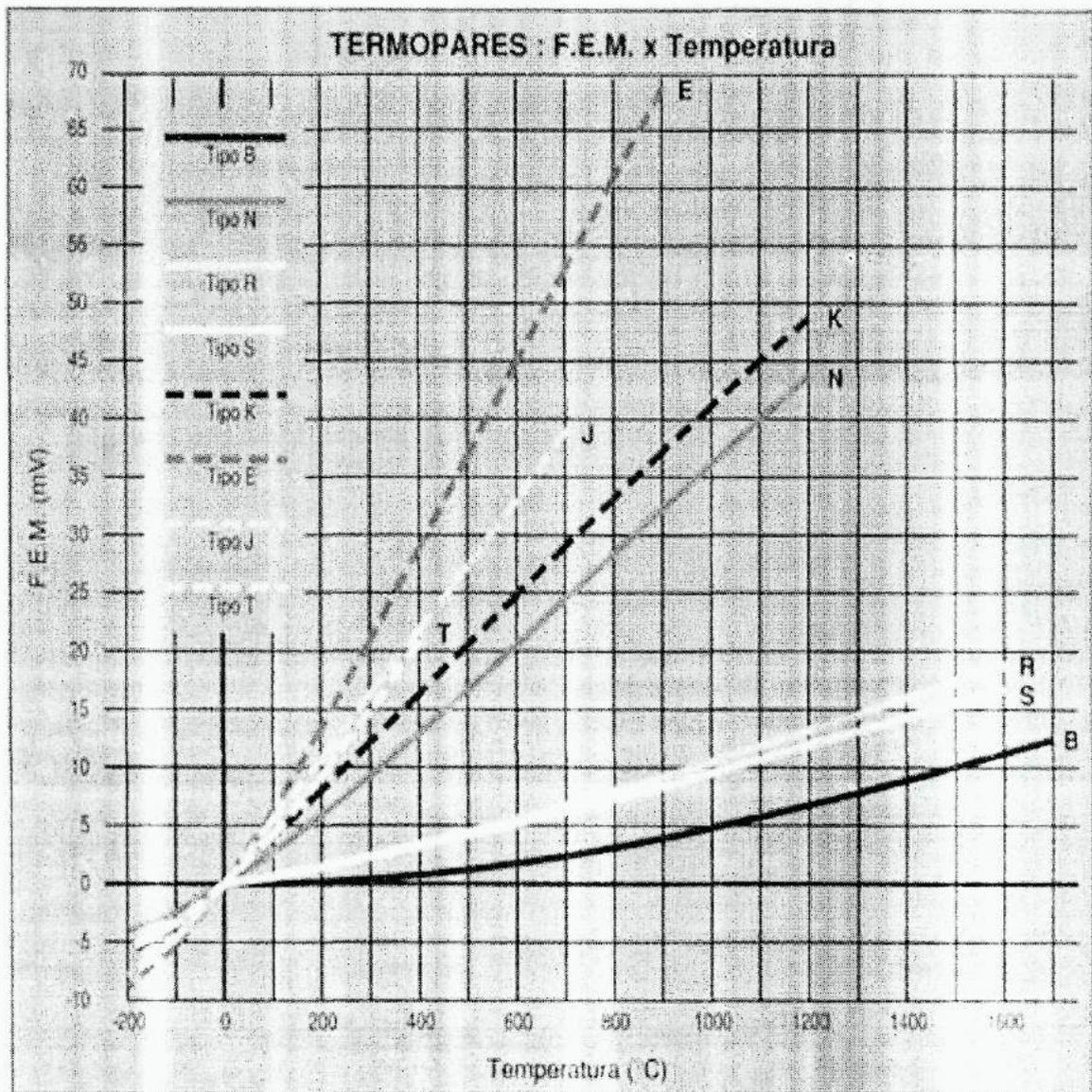


Figura 11 – Gráfico de correlação F.E.M x Temperatura.

CAPÍTULO 3 – TERMOPAR NA SALA DE AULA.

3.1 – CONSTRUÇÃO DOS KITS.

Na construção dos kits foram usados dois fios comuns ferro e cobre para verificar se é possível detectar o efeito termoelétrico. Essa escolha foi tomada com o objetivo de dar praticidade ao experimento porque esses fios são facilmente encontrados em qualquer oficina.

Foi decidido utilizar dois termopares na ilustração do efeito termoelétrico.

PRIMEIRO TERMOPAR.

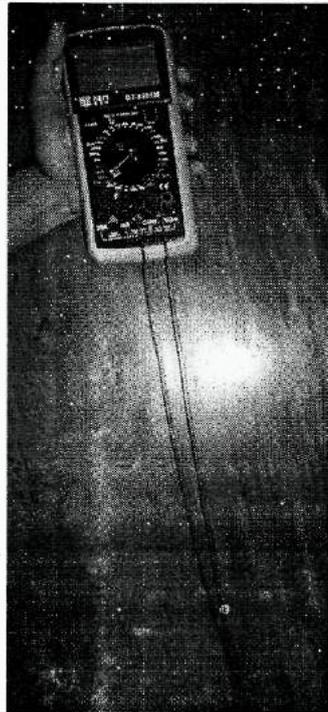


Figura 12 – Termopar para fácil visualização dos alunos (A junção de dois metais gera uma tensão quando exposta a variação de temperatura).

Ele tem o objetivo de mostrar ao aluno que dois fios unidos quando sofrem uma variação de temperatura em sua junção transformam esse calor em tensão elétrica. Seu formato é para uma fácil visualização.

Usamos:

- Dois fios, um de Ferro e outro de Cobre.
- Ferro de solda e estanho.
- Lixa.
- Dois pinos bananas machos.
- Multímetro.

A lixa serviu para retirar qualquer resquício de oxido nos contatos dos pinos banana e da junção entre os metais⁵.

Na junção de medição de temperatura torcemos os fios e soldamos com solda TIG para evitar possíveis perdas de tensão por mau contato. Nessa soldagem a arco elétrico não foi utilizado um metal adicional para evitar contaminação. No entanto, é permitido usar solda comum de estanho, caso o professor não tenha soldas a disposição basta uma junção torcida com auxílio de um alicate para o termopar funcionar.

Os pinos banana foram soldados com estanho, os dois materiais são facilmente encontrados em loja de peças eletrônicas. O professor deve tomar cuidado para, antes de soldar, verificar a polaridade. Com o pino preto como terra do multímetro os valores devem ser positivos.

O multímetro deve ser posicionado para medir tensões na faixa de mV (faixa de 0 - 200 mV é em geral a de mais alta sensibilidade nos multímetros mais simples de 3 1/2 dígitos). Como dito anteriormente, nosso termopar não é constituído por ligas que maximizam seu desempenho, além disso, a intensidade do sinal é baixa. Então, utilizaremos a chama de uma vela sua temperatura é, aproximadamente, 500°C segundo GREF (2006, p. 16). Nessa temperatura o sinal é facilmente identificado.

Aproximando a junção do termopar sobre a chama nosso termopar caseiro atingiu uma F.E.M. de 1,5 mV.

SEGUNDO TERMOPAR.

Esse termopar tem como característica principal a possibilidade de medir temperaturas, demonstrando a maior aplicabilidade do efeito Seebeck nas indústrias atuais. Foi desenvolvido para ser prático e de fácil visualização, ou seja, a intenção é montá-lo na sala de aula sem dificuldade, seu suporte dá possibilidades do aluno discernir as junções.

⁵ Pela lei dos metais intermediários esses pontos são os únicos que podem interferir na D.D.P.

Tendo em vista, inclusive nos aparelhos domésticos, o vermelho como positivo colocamos o pino vermelho nessa polaridade para facilitar o entendimento dos alunos.

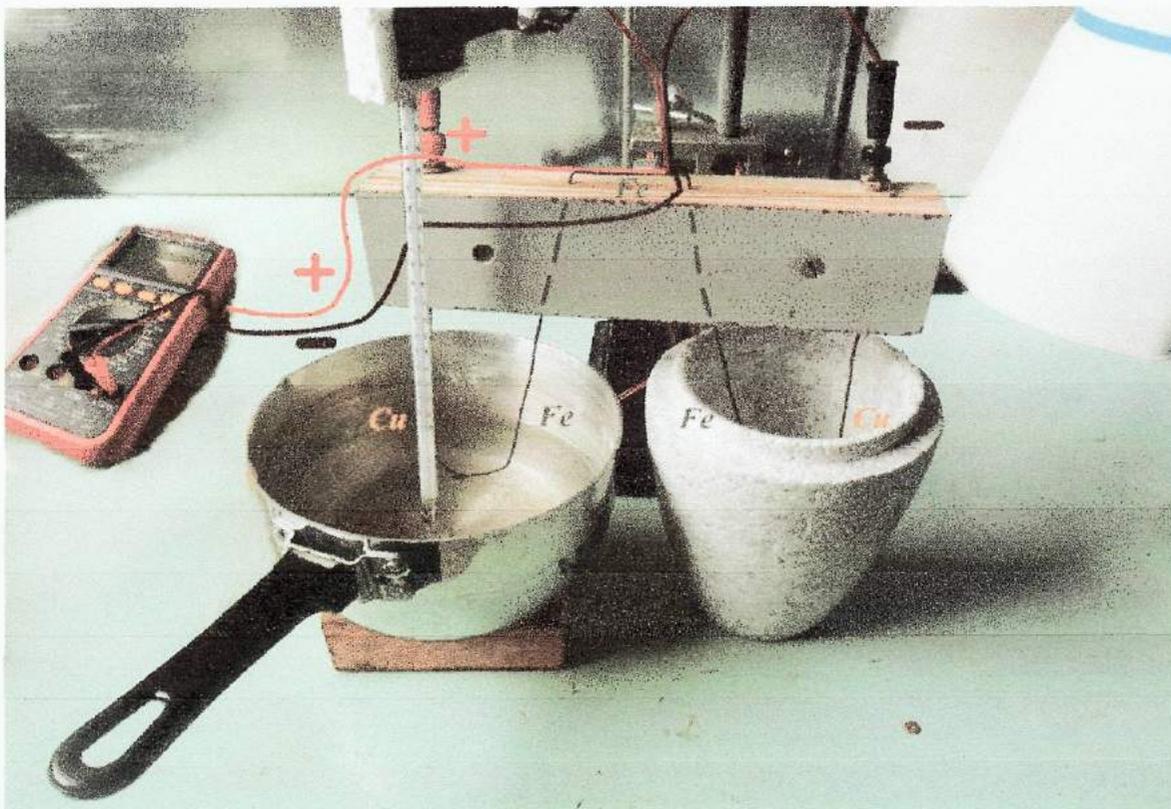


Figura 13 – Termopar com ponto de referência para, através de calibração, ser possível medir temperaturas.

Serão necessários:

- quatro pinos banana fêmea e dois pinos macho.
- Dois fios de Cobre e um de Ferro, desencapados.
- Fio de Cobre duplo encapado.
- Lixa.
- Termômetro de mercúrio com capacidade de medir 100°C.
- Dois recipientes, uma panela para água fervente e isopor para o gelo.
- Duas madeiras de mesmo tamanho, aproximadamente (20x5) cm.
- Um pino de metal para servir de suporte.
- Furadeira.
- Dois parafusos.
- Aquecedor de água.
- Multímetro.

Assim como o primeiro termopar após lixar as junções, elas são soldadas utilizando o método TIG. No interior das madeiras passamos o fio de Cobre e Ferro. O fio de Ferro passa no meio das madeiras com uma extremidade na panela e a outra no isopor, o fio de Cobre do lado do isopor será conectado ao multímetro (-) e o fio de Cobre do lado da panela será conectado no positivo do multímetro (+).

OBS: os fios de Cobre terminam nos pinos banana fêmea.

Com o suporte de metal encaixado o termopar está pronto! (ver figura 13).

Colocando água com gelo no isopor na junção abaixo do pino preto (junção fria) e a panela junto com o aquecedor na outra junção o termopar, com o multímetro conectado, está pronto para ser testado.

Posicionando a chave do multímetro para identificar tensões contínuas na ordem de mV podemos aquecer a água até seu ponto de ebulição, ou seja, 100°C ⁶.

3.2 CALIBRAÇÃO DO SEGUNDO TERMOPAR.

Quando a água estiver fervendo esperamos o termômetro entrar em equilíbrio térmico, então apagamos o fogo e deixamos esfriar para começar a anotar os pontos. Mas, procedendo dessa forma a água ferveu e a **D.D.P.** começou a flutuar tanto para mais quanto para menos. Contribuíram para isso: a deficiência dos materiais, o multímetro em sua escala de fundo e o sinal baixo.

Uma saída para contornar esse problema foi utilizarmos um voltímetro de 4,5 dígitos ao invés de 3,5. Mesmo sabendo que esse tipo de equipamento é muito caro, resolvemos utilizá-lo a título de comparação.

Pela teoria plotando um gráfico (tensão x temperatura) os termopares formam uma curva de calibração, expressa melhor por polinômios discutidos anteriormente. No entanto, como nosso intervalo de temperatura é pequeno aproximamos para uma equação de 1º grau que descreve satisfatoriamente. Assim, os alunos têm um melhor entendimento na construção do gráfico.

⁶ Sob condições normais de pressão.

Os dados obtidos foram:

Tabela 3 – Dados com voltímetro de 4,5 dígitos.

	Temperatura (°C)	D.D.P (mV)
1	95	0.18 ± 0,01
2	93	0.17 ± 0,01
3	92	0.16 ± 0,01
4	90	0.15 ± 0,01
5	87	0.14 ± 0,01

Como a tensão não diminuía como esperado não foi possível deixar intervalos iguais entre as temperaturas.

Foi feita a regressão linear:

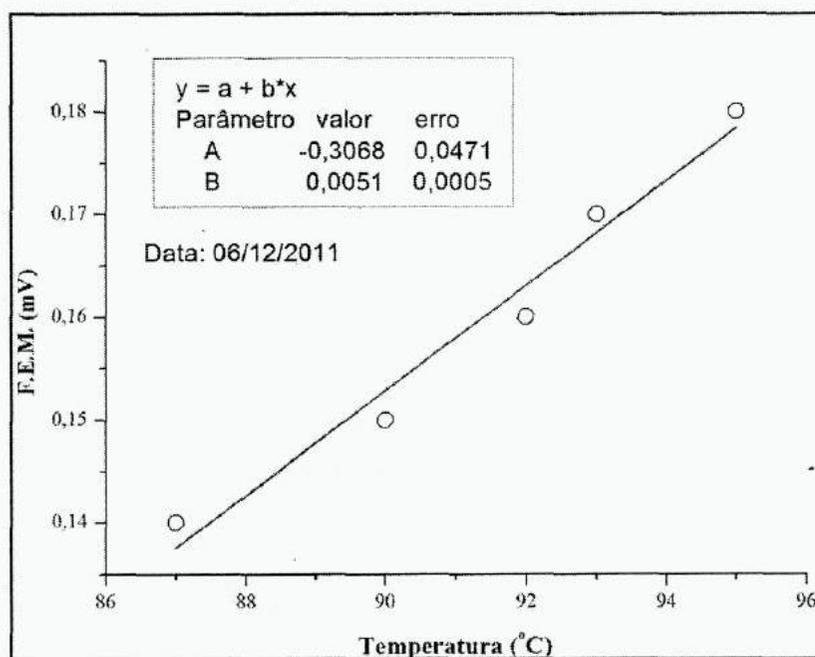


Figura 14 – Calibração com voltímetro de 4,5 dígitos.

O coeficiente de Seebeck que chamaremos de S é nosso coeficiente angular.

Os pontos dispersos em relação à reta e o coeficiente A muito alto comprovam a existência de uma imprecisão muito grande.

A seguir, foi necessário achar uma solução a fim de obter dados mais precisos de forma simples e barata.

Primeiramente, foi cogitada a ideia de obter as ligas próprias para termopares. Então, foi encontrada na internet uma empresa paulista fornecedora desses materiais (Alutal).

Ligas vendidas possuem porcentagem específica, por isso, até o ferro e o cobre têm características diferentes das comuns.

Foram enviados os preços das quatro ligas mais utilizadas para termopar, que são:

Tabela 4 – Tipos de liga.

Ligas	Diâmetro	Preço por metro
Cromel	1,63	R\$ 8,50
Alumel	1,63	R\$ 8,50
Constantan	1,63	R\$ 6,50
Ferro	1,63	R\$ 4,50

Decidimos não fazer dessa forma, pois mesmo utilizando esses materiais a tensão continuaria na casa dos milivolts. Ou seja, gastaríamos em torno de R\$ 20,00 sem obter uma melhoria significativa dos dados.

Outra solução seria utilizar um amplificador para tomar valores com maior precisão porque aumenta a tensão e as escalas do multímetro. Ao pesquisar sobre amplificadores indicados para termopares chegamos ao amplificador INA129 fabricado pela empresa Texas Instruments.

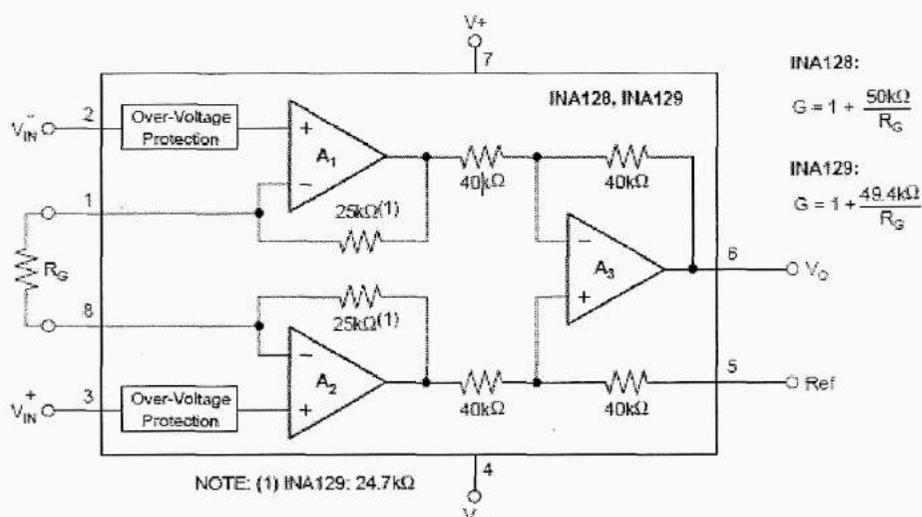


Figura 15 – Amplificador INA129 (TEXAS Instruments, 2012, p. 1).

Seu valor mais o frete ficaram em R\$ 27,00.

Ele tem capacidade de multiplicar a tensão de 1 até 1000 vezes, variando a resistência R_g . Assim, foi colocada uma resistência de aproximadamente 60Ω , o ganho estimado é 1000 vezes com um erro máximo de apenas 0,001% tornando uma eficiente ferramenta.

Sua alimentação pode ser feita em uma faixa de $\pm 2,25 \text{ V}$ até $\pm 18 \text{ V}$. Utilizamos 4 pilhas AA de 1,5 Volts cada. Ou seja, ficamos com $\pm 6 \text{ Volts}$.

Testamos o amplificador no *protoboard*, verificando seu funcionamento o soldamos na placa própria para circuitos e instalamos numa caixa. Sempre com a premissa de deixar bem claro aos alunos.

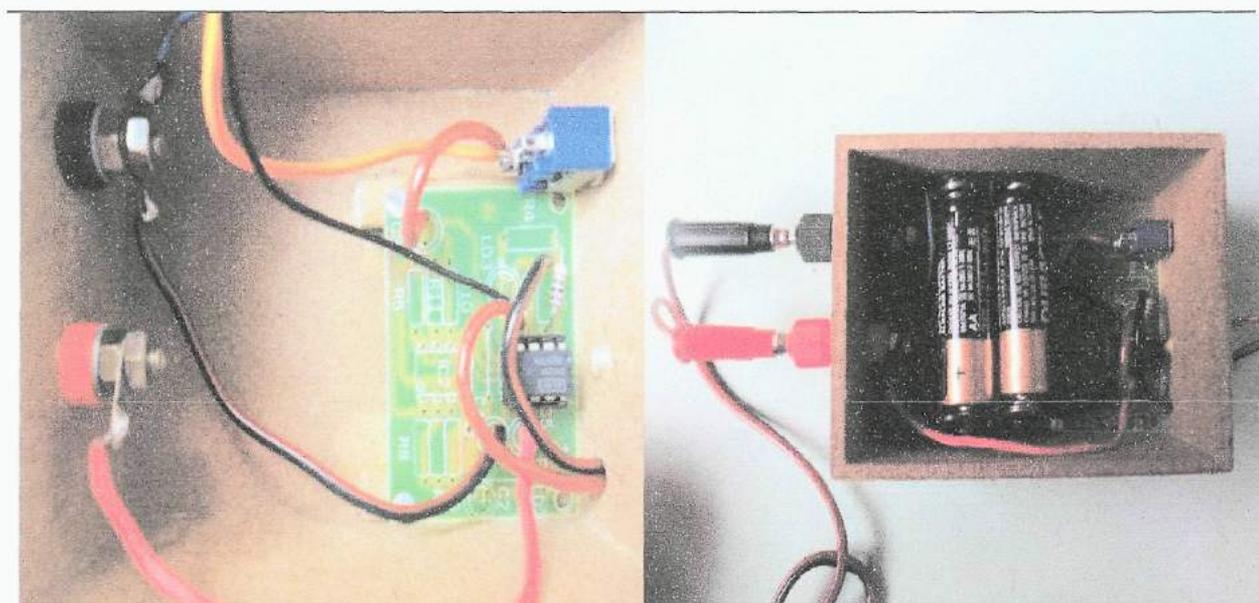


Figura 16 – Amplificador instalado⁷.

Assim, facilmente identificam-se pinos banana para a entrada do multímetro, fios com pinos machos em suas extremidades a saída e uma chave de liga e desliga.

⁷ A utilização do amplificador não precisa limitar-se a termopares. Podendo servir para amplificar tensões ou converter correntes em aulas de eletrônica.

Com o amplificador montado temos todas as peças para conseguirmos a curva de calibração.

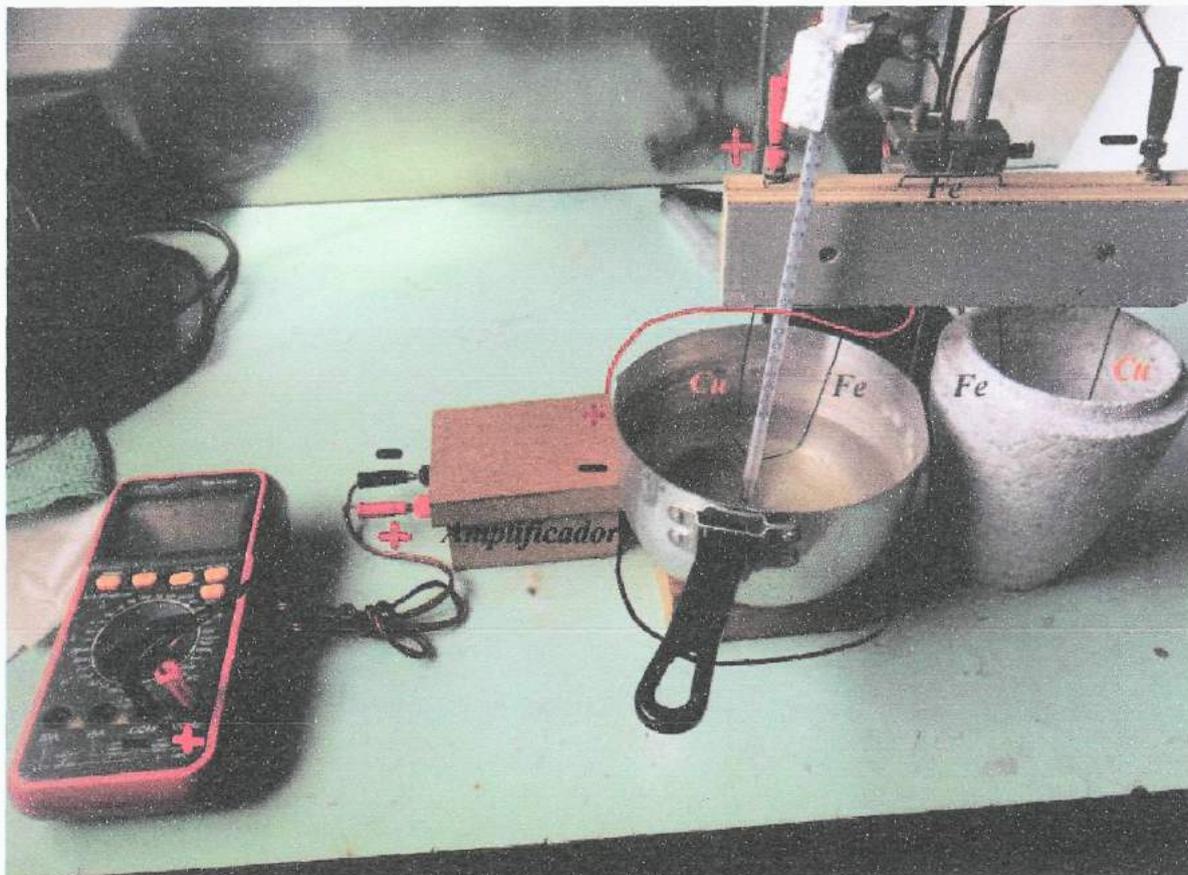


Figura 17 – Termopar pronto para uso.

Então, com o aquecedor aumentamos a temperatura da água da panela até atingir a ebulição. Nota-se na figura acima, a facilidade em obter as temperaturas já que o termômetro encontra-se instalado bem a frente da junção.

Assim como o primeiro começamos a marcar a partir de 95°C. Obtivemos:

Tabela 5 – Dados com multímetro amplificado em, aproximadamente, 1000 vezes.

	Temperatura (°C)	D.D.P (V)
1	95	$0.100 \pm 0,002$
2	90	$0.090 \pm 0,002$
3	85	$0.084 \pm 0,002$
4	80	$0.073 \pm 0,002$
5	75	$0.067 \pm 0,002$
6	70	$0.062 \pm 0,002$
7	65	$0.057 \pm 0,002$

Na obtenção de dados observou-se uma variação mais próxima do que deve acontecer, com a diminuição da temperatura da água a tensão no termopar também diminuía. Como a tensão é baixa verificou-se uma flutuação na **D.D.P.** Porém, foi menos intenso e houve uma estabilização dos valores conforme a temperatura diminuía facilitando a tomada de dados.

Para evitar flutuações intensas é aconselhado fazer conexões bem justas entre, multímetro, amplificador e termopar.

Com os dados novamente foi feita a regressão linear.

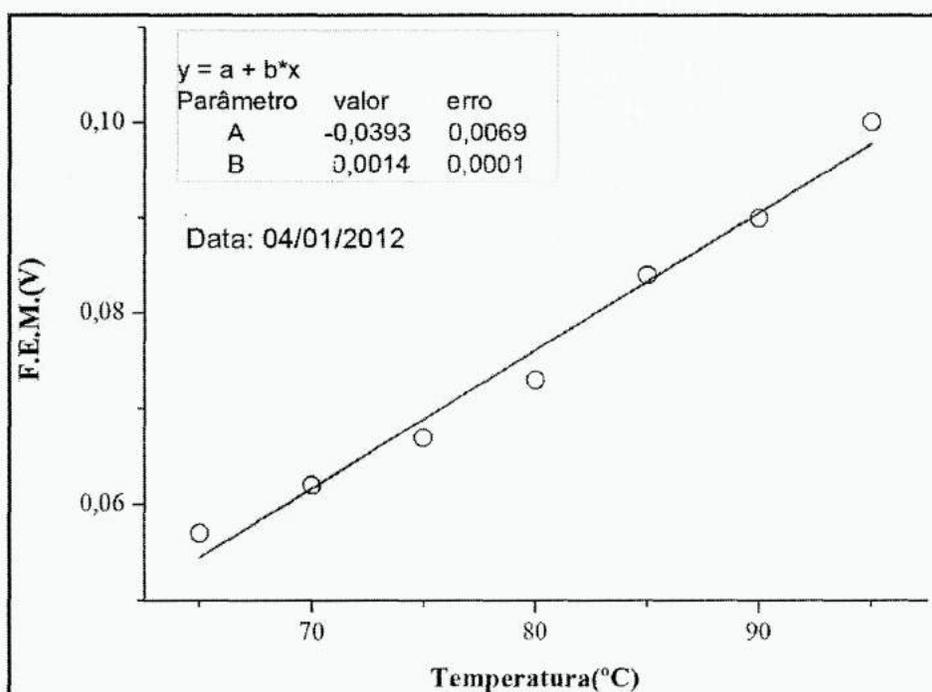


Figura 18 – Calibração com amplificadores INA129.

Na análise do gráfico deve-se perceber que **D.D.P.** Esta em V, os pontos menos dispersos. Com isso, o erro e o coeficiente **A** também estão menores.

De posse do gráfico nosso termopar está calibrado e podemos usá-lo para medições de temperatura nesse intervalo de temperatura. Criamos nosso termômetro!

Os roteiros sugeridos para utilização dos alunos se encontra no apêndice A. Em seguida, propomos um plano de aula para os professores.

3.3 – UMA PROPOSTA DE PLANO DE AULA.

Esse plano de aula é uma forma, das várias possíveis, de como pode ser apresentado o Efeito Seebeck em sala. Portanto, o professor pode utilizar esse plano de aula no ensino técnico. Todavia, pode ser aplicado na 2ª série do ensino médio de uma forma mais simplificada. O professor deve construir um plano de aula com objetivo de alcançar o melhor rendimento cognitivo dos alunos.



UFRJ

Assunto: O Efeito Seebeck: sua aplicação como termômetro.

Autor: Jader dos Reis Borges.

1. Objetivos.

- Que o aluno compreenda como surgiu o efeito Seebeck e uma de suas principais funções: ser utilizado como termômetro através de sua calibração.

2. Pré-requisitos.

- Conceito de calor.
- Temperatura.
- Corrente elétrica.
- Diferença de potencial.
- Equação de 1º grau.
- Construção de gráficos.

3. Conteúdo e tempo.

- 1º aula.
 - História de Thomas Seebeck e a descoberta do efeito que leva seu nome **(20 minutos)**.
 - Leis do circuito termoelétrico **(15 minutos)**
 - Tipos de Termopares e suas aplicações **(15 minutos)**.
- 2º aula.
 - Demonstração do primeiro termopar **(15 minutos)**.
 - Demonstração do segundo termopar **(20 minutos)**.

- Dados do segundo termopar (**25 minutos**).
- 3ª aula.
- Entrega do roteiro para os alunos e tempo para as resoluções (**25 minutos**).
- Avaliação (**25 minutos**).
 - Através dos roteiros entregue para os alunos:
 - Verificar o uso correto das unidades de medida.
 - Ressaltar a transformação de energia térmica para elétrica.
 - Trabalhar o conceito de construção de gráficos e sua utilidade para o termopar que, calibrado, é utilizado como termômetro.

4. Conclusão.

- Apresentar o Efeito Seebeck como um fenômeno útil na medição de temperaturas, assim como usar os conceitos fundamentais da física e matemática de uma forma prática e motivacional. Com a finalidade de simplificar o entendimento dos alunos.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO.

4.1 - CONCLUSÃO.

Esse trabalho norteia-se na obtenção de assuntos relevantes na construção das competências científicas de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN).

- Representação e comunicação.
- Investigação e compreensão.
- Contextualização sociocultural.

A descoberta do Efeito Seebeck possibilita o aluno entender um pouco mais sobre a evolução da ciência no patamar atual. Esse trabalho se concentrou na aplicação desse fenômeno na termometria. Na sala de aula o professor pode encontrar vários problemas na obtenção dos dados, portanto é aconselhável que realize a experiência previamente e já tenha os dados, com a experiência servindo somente como visualização do fenômeno.

O professor deve estar ciente que o Efeito Seebeck pode ser utilizado em outros tópicos como fonte alternativa de energia em sondas espaciais, na eletrodinâmica, em termodinâmica etc.

Ou seja, os docentes podem utilizar esse fenômeno de acordo com as condições encontradas nas escolas e tempo disponível para concluir onde será mais apropriada sua aplicação e verificar as carências dos alunos.

Com a construção da monografia nota-se que a evolução do Efeito Termoelétrico é um bom exemplo para desmitificar a ideia de que as descobertas nascem prontas, tão pouco de que os pesquisadores são incontestáveis. Para se chegar à concepção final percorre um caminho longo onde são necessárias discussões e muita força de vontade de modo que os alunos percebam que fórmulas e conceitos não são mágicas feitas repentinamente.

Enfim, a intenção é ensinar o aluno, a partir do entendimento dos termopares através da história e experimentos práticos, a construção e análise de gráficos e a possibilidade de que é possível compreender a Física não como sinônimo de fórmulas, mas como a melhor maneira ao longo do tempo de traduzir matematicamente os fenômenos da natureza e torná-los úteis para nossa sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALUTAL Controles Industriais LTDA. Disponível em: < <http://www.alutal.com.br>>. Acesso em 6 de jun. 2011.

AMARAL Jr., Manoel Rothier do. Laboratório de Eletrônica Moderna. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (lei nº 9394), Diário Oficial da União, 20 de dezembro de 1996. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>> Acesso em 7 jan. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciência da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília, MEC, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Educação Profissional Técnica de Nível Médio Integrada ao Ensino Médio. Documento Base, 2007. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/documento_base.pdf>. Acesso em 11 de maio 2012.

GRAF, Leituras de Física; Para ler fazer e pensar; Vol.2; Convênio USP/MEC-FNDE; Subprograma de educação para as Ciências; (CAPES-MEC); (2006). Disponível em: <<http://www.labortoriodefisica.com.br/GRAF/termo/termo4.pdf>>. Acesso em 12 de nov. 2011.

HERSKOWICZ, G. Curso completo de Física. 1º. Ed. São Paulo: Moderna, 1991.

HEWITT, Paul G., Física Conceitual, 9ª Ed., 2002, Addison Wesley.

IOPE Instrumentos de Precisão LTDA. Disponível em: <www.iope.com.br/3ia3_termopares.htm>. Acesso em 12 de nov. 2011.

MACDONALD, D. K. C. Thermoelectricity: an introduction to the principles. Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962.

NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P.; RAMALHO JR. Os Fundamentos da Física Moderna – 5. Ed.. – São Paulo : Moderna, 1988.

SEEBECK, História. Disponível em:
<http://www.bassalo.com.br/cf10_curiosidade198.pdf>. Acesso em: 27 de Jan. de 2012.

SILVA, J. A.; Luiz, A. M.; A Relevância da Metrologia no Ensino Médio, XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, CEFET / Rio de Janeiro, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0454-2.pdf>>. Acesso em 20 fev. 2012.

SPF, Sociedade Portuguesa de Física. Disponível em:
<<http://faraday.fc.up.pt/wyp/4/Dia-9.html>>. Acesso em 12 de nov. 2011.

TEXAS Instruments Incorporated, 2012. Disponível em
<<http://www.ti.com/product/ina129>>. Acesso em 20 de dez. 2012.

APÊNDICE A - ROTEIRO PARA OS ALUNOS.

1. OBJETIVO.

- Apresentar o conceito de transformação de energia térmica em elétrica.
- Identificar as dimensões trabalhadas.
- Apresentar os termopares e verificar seu funcionamento.
- Utilizar os termopares como termômetro através da calibração pelo gráfico.

2. TEORIA (PARA SER DESENVOLVIDA PELOS ALUNOS).

(O professor pode pedir que os alunos façam um breve resumo da teoria ou pedir que respondam as perguntas abaixo).

- Quando Thomas Seebeck descobriu o Efeito que leva seu nome ele verificou que estava sendo gerado que fenômeno?
- Seebeck estava correto? Justifique.
- Cite duas leis do circuito termoelétrico.
- Por que a compensação da temperatura ambiente é tão importante para a calibração dos termopares?
- Podemos subdividir os termopares em quantos grupos? Dê exemplos de um termopar de cada grupo.

3. MATERIAL UTILIZADO⁸.

Primeira experiência.

- Termopar com uma junção.
- Multímetro.
- Vela.
- Fósforo.

⁸ Nesse roteiro os alunos estão adquirindo os dados em sala. Mas, o professor pode realizar a experiência antes da aula e já ter os dados para diminuir o tempo.

Segunda experiência.

- Termopar com duas junções.
- Panela com água.
- Recipiente de isopor com água e gelo.
- Haste de apoio.
- Aquecedor de água.
- Termômetro de mercúrio.
- Papel milimetrado.
- Régua.

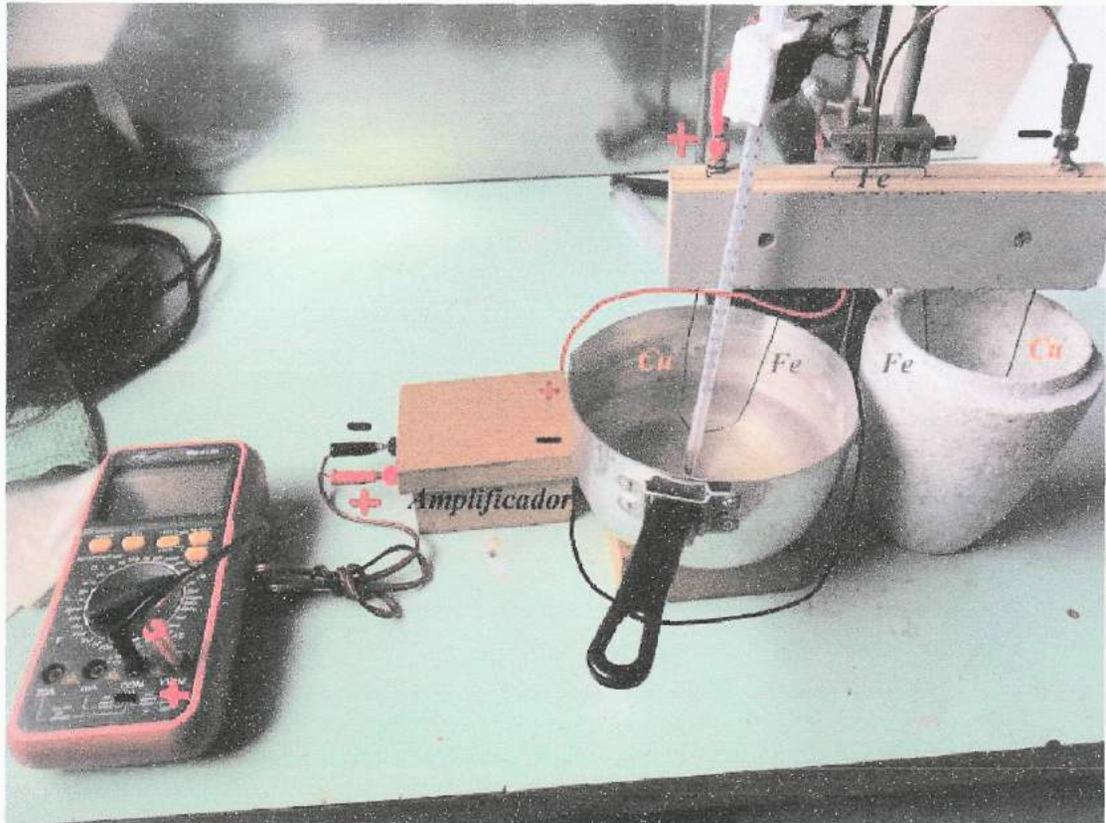
4. PROCEDIMENTO DE MONTAGEM.

Primeira experiência.



- Conecte o **primeiro termopar** (uma junção) no multímetro e ascenda a vela.
- Coloque o multímetro na escala de mV e tensão contínua.
- Aproxime a vela da junção e verifique a tensão do termopar quando aproximamos e afastamos a vela.

Segunda experiência.



- Prenda o **segundo termopar** (duas junções) na haste.
- Coloque o recipiente de isopor, com água e gelo, na junção abaixo do pino banana preto e a panela com água na outra junção.
- Encaixe os cabos do amplificador conforme a cor correspondente no termopar, preto com preto e vermelho com vermelho.
- Agora encaixe os cabos do multímetro conforme a cor correspondente no amplificador, preto com preto e vermelho com vermelho.
- Prenda o termômetro de forma que fique em contato com a água da panela.
- Com o aquecedor ferva a água da panela.
- Após a fervura desligue o aquecedor e comece a anotar as temperaturas e as tensões correspondentes, marque a temperatura com intervalos de 5°C.
- Preencha a tabela com no mínimo 7 pontos.
- Use o papel milimetrado para fazer um gráfico $V \times T$ (°C).
- Ache o coeficiente angular que é chamado **coeficiente Seebeck (S)**.
- Transforme a unidade do **coeficiente Seebeck** de $V/^\circ\text{C}$ para $\text{mV}/^\circ\text{C}$.

5. DADOS.

• EXPERIÊNCIA 1.

Escreva o valor máximo atingido pelo multímetro quando aquecemos a junção na chama de uma vela.

$$\text{D.D.P.} = (\quad \quad \quad) \text{ mV.}$$

Quando afastamos o multímetro da vela, o que acontece com o valor no multímetro? E quando aproximamos? Porque isso ocorre?

• EXPERIÊNCIA 2.

Com os dados do **segundo termopar** construa uma tabela⁹.

Nº	Temperatura (°C)	Diferença de Potencial (V)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Com os pontos da tabela faça um gráfico **Tensão (V) x temperatura (T)** e calcule o coeficiente angular $\frac{\Delta V}{\Delta T} = S_{\text{medido}}$ que é nosso **coeficiente Seebeck**. Com esses dados nosso termopar está calibrado e poderá servir como termômetro.

Escreva o valor do S_{medido} :

$$S_{\text{medido}} = (\quad \quad \quad) \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

Pelo gráfico identifique qual a temperatura será se o termopar marcar 0,076V?

Se nosso termopar estivesse marcando 0,155V qual seria a temperatura?

6. CONCLUSÃO.

Conclui-se que: _____

⁹ O professor pode fornecer os dados, ou adquiri-los em sala.