

PROJETO, CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE TEMPERATURA DO TIPO TERMOPAR SEGUINDO A METODOLOGIA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Mariana Pimenta Adaixo de Deus – marianadaixo@yahoo.com.br

Agnaldo J. da Rocha Reis – reis@ufop.edu.br

Marcélia A. Marques de Oliveira – marcelia_marques@hotmail.com

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Escola de Minas – Departamento de Engenharia de Controle e Automação (DECAT)

Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, s/n

35.400-000 – Ouro Preto – Minas Gerais

Resumo: *Uma maneira pedagógica e muito bem estruturada de aumentar o interesse dos discentes e, por conseguinte, reduzir os índices de evasão dos cursos de Engenharia Elétrica, Eletrônica, de Controle e Automação, e Mecatrônica, se dá a partir da elaboração de protótipos multifuncionais envolvendo conceitos tais como eletro-eletrônica, instrumentação, controle e automação. A união de conteúdos teórico e prático de disciplinas em curso ou já cursadas combinada com a metodologia de ensino Abordagem Baseada em Problemas (ABP) tem se mostrado como uma ferramenta motivacional muito poderosa. Apresenta-se neste artigo, o projeto, a confecção e a calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar, que foi posteriormente interligado a uma plataforma de prototipagem eletrônica do tipo Arduino configurada para adquirir e processar dados de temperatura medidos com o sensor desenvolvido. Ao final do trabalho, espera-se que os partícipes do projeto obtenham uma visão mais integrada e abrangente dos diversos conteúdos abordados ao longo do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação da Escola de Minas (EM) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e que sejam aptos a resolverem os problemas que enfrentarem no futuro com maior disciplina e desenvoltura. Espera-se ainda que o ato de ensinar a disciplina Instrumentação se torne mais interessante e produtivo com a experiência aqui relatada.*

Palavras-chave: *Aprendizagem Baseada em Problemas. Instrumentação Eletrônica. Sistemas de Aquisição de Dados. Termopar.*

1. INTRODUÇÃO

A fim de tornar mais interessante os conteúdos expostos em sala de aula, foi desenvolvido na Universidade Federal de Ouro Preto, por um grupo de alunos de Engenharia de Controle e Automação, um trabalho prático na área de Instrumentação Eletrônica seguindo a metodologia intitulada de ‘Aprendizagem Baseada em Problemas’ (ABP). Tal metodologia permite ao aluno adquirir e integrar novos conhecimentos a partir da resolução de problemas propostos pelos professores. Nesse método, centrado no aluno, os problemas são estimuladores para aprendizagem (BARROWS, 1986). Os problemas são abordados sob a forma de um projeto prático, de acordo com os conteúdos das disciplinas, buscando a

interdisciplinaridade, o que faz com que o problema seja compreendido, fundamentado e analisado seguindo também por vezes uma filosofia de gerenciamento de projetos (ROCHA et al., 2013).

Com base em (MELO et al., 2017), para que a técnica ABP possa ser implantada, sugere-se que as seguintes etapas sejam observadas: 1) Formação de pequenos grupos de alunos que trabalharão juntos na solução de um problema sob a orientação de um professor (ou tutor); 2) Apresentação de uma situação problema; 3) Estudo e análise da situação; 4) Formação de hipóteses de trabalho; 5) Formação de questões de aprendizagem; 6) Compartilhamento e avaliação das habilidades adquiridas pelos alunos durante o processo.

A utilização da técnica ABP e os conceitos teóricos e práticos obtidos previamente nas disciplinas Instrumentação, Interfaceamento de Sistemas e Inteligência Artificial, entre outras, devem propiciar subsídios para que os alunos construam e calibrem um sensor de temperatura do tipo termopar com a mínima intervenção possível do professor. O sensor a ser desenvolvido é muito utilizado na indústria para fins de monitoramento e controle da grandeza temperatura. A sua construção é relativamente simples, uma vez que são necessários apenas dois metais dissimilares (e.g. cobre e constantan). No entanto, as etapas de condicionamento de sinais, compensação de junta de referência, calibração estática e dinâmica, e de integração com o módulo de aquisição de dados baseado na plataforma Arduino requerem muito conhecimento, estruturação, organização e dedicação. Diante do exposto, fica evidente que a ABP é uma das ferramentas disponíveis com maior potencial para que tais metas sejam alcançadas.

Este artigo está dividido como se segue. Na Seção 2 se discute como a ABP pode ser aplicada na construção e calibração do termopar. A definição clara do problema é assunto da Seção 3. Na seção 4, o Projeto, a Construção e a Calibração do Termopar são tratados. As conclusões obtidas e as habilidades adquiridas são listadas na Seção 5 - Considerações Finais.

2. A UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA ABP NA CONSTRUÇÃO DO TERMOPAR

A proposta utilizada aqui é baseada na ideia de que o aluno, engenheiro moderno, não precisa ter todo o conhecimento memorizado, decorado e acumulado, mas sim, de que ele necessita do conhecimento suficiente para a resolução de problemas baseado na construção do conhecimento (ROCHA et al., 2013). A concepção desse método de ensino surgiu a partir da constatação dos administradores e docentes do curso de medicina da McMaster University (Canadá), de que os estudantes que se formavam não tinham capacidade suficiente de aplicação de conteúdos conceituais para obtenção de diagnósticos no exercício da profissão de médico. Além disso, apresentavam poucas habilidades e atitudes profissionais desejáveis à prática da medicina (RIBEIRO, 2008).

Por conseguinte, espera-se que com a aplicação da ABP a aprendizagem se torne mais dinâmica e envolvente, e que seja compartilhada tanto por estudantes quanto por docentes. Isso pode contribuir muito para instigar nos primeiros o apreço pelo estudo e a disposição para a aprendizagem autônoma por toda a vida. Além disso, A ABP parece conferir-lhes mais motivação para o trabalho ao qual estão sendo preparados durante a formação (LOPES, 2007; RIBEIRO, 2008). Por fim, pelo fato de trabalharem em grupo, os discentes aprendem a respeitar opiniões diversas e a construir consensos. Há o desenvolvimento da responsabilidade com relação ao cumprimento de planos e prazos, desenvolvendo a capacidade de estudo e trabalho autorregulado. (ARAÚJO et al., 2016).

Sendo mais específico, para que a ABP pudesse ser empregada neste trabalho, as seguintes etapas foram contempladas:

- 1) Organização em grupos de três pessoas para o desenvolvimento do termopar;
- 2) Escolha de um professor da área para tutoria;
- 3) Definição da situação problema;
- 4) Projeto, construção e calibração do termopar;
- 5) Conclusões e descrição das habilidades adquiridas como considerações finais.

As etapas de 3-5 serão descritas em detalhes nas seções que se seguem.

3. SITUAÇÃO PROBLEMA

Construir um sensor do tipo termopar utilizando os metais cobre e constantan e desenvolver um circuito de condicionamento de sinais para ele. Calibrá-lo tanto do ponto de vista estático quanto dinâmico. Identificar sua função de transferência e definir uma aplicação para todo o projeto.

4. PROJETO, CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DO TERMOPAR

4.1 Revisão Teórica do Sensor Termopar

O termopar é um sensor formado por dois fios de metais diferentes. Quando esses dois fios são unidos em ambas as extremidades e uma das extremidades é aquecida e a outra é deixada em uma temperatura diferente (e.g. temperatura ambiente), há uma corrente contínua que flui no circuito termoelétrico formado. Se este circuito é interrompido no centro, a tensão de circuito aberto (chamada de tensão Seebeck) é função da diferença de temperatura entre as extremidades e da composição dos dois metais. Desse modo, é possível construir-se um termômetro com esse sensor, pois existe uma relação direta entre a tensão termoelétrica produzida e a diferença de temperatura entre as extremidades. Esses sensores são utilizados em uma ampla gama de aplicações domésticas, comerciais e industriais.

Existem vários tipos de termopares comerciais. Um deles, o termopar do tipo T, assunto deste trabalho, é formado por fios de cobre e constantan e pode ser utilizado na medição de temperatura na faixa de -270°C a 370°C . É resistente à corrosão em atmosferas úmidas e possui a melhor exatidão entre os termopares de base metálica (ECIL, 2018).

4.2 Materiais utilizados

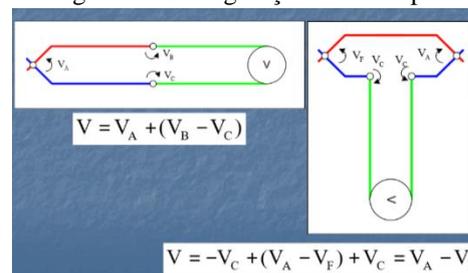
- 1 Fios de cobre e constantan;
- 2 Estanho;
- 3 Ferro de solda;
- 4 Recipientes com água (nas formas sólida e líquida);
- 5 Protoboard (matriz de contatos);
- 6 Circuito integrado LM324n;
- 7 Resistores de 100Ω , $10\text{K}\Omega$, $20\text{K}\Omega$ e $100\text{K}\Omega$;
- 8 Fonte de 12 V;
- 9 Termômetro Digital (padrão);
- 10 Voltímetro;
- 11 Fios de conexão;

- 12 Sensor de Temperatura LM35;
- 13 Arduino.

4.3 Construção do termopar

Para se construir o termopar, formaram-se duas juntas torcendo-se um fio ao redor do outro e soldando-se o conjunto com estanho. Depois, experimentalmente, descobriu-se qual dos termoelementos era o positivo e qual deles era o negativo. Essa construção está esquematizada na Figura 1, em que o termoelemento positivo é o Cobre (azul) e o termoelemento negativo é o Constantan (vermelho).

Figura 1 - Configuração do termopar



Fonte: www.profelectro.info

4.4 Projeto do Circuito de Condicionamento de Sinais

O condicionamento do sinal de saída do termopar é essencial para que a medição possa ser feita, posteriormente, por placas de aquisição de dados. O Arduino, por exemplo, só consegue ler entradas analógicas com tensões de 0 a 5V; valores da ordem de uns poucos milivolts não são “captados” por ele.

Para o projeto do circuito, os recursos escolhidos para a calibração do termopar foram gelo e água em ebulição. A uma temperatura perto de 100°C, a diferença de potencial entre a Junta de Medição (JM) e a Junta de Referência (JR) do termopar correspondia a 3,7mV. Considerando-se o uso do Arduino, determinou-se que esta tensão de 3,7mV deveria ser amplificada a 5V. Assim, para calcular o ganho do amplificador, fez-se na Equação (1):

$$3,7 \times 10^{-3} \times \text{Ganho} = 5 \quad (1)$$

$$\text{Ganho} = 1,3 \times 10^3$$

O circuito integrado de amplificação escolhido foi o LM324n por não requerer alimentação com fonte simétrica. Utilizando o circuito amplificador não inversor, a equação do ganho desse amplificador é dada pela Equação (2), a saber:

$$\text{Ganho} (Av) = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (2)$$

$$\text{Desse modo, } 1 + \frac{R_f}{R_i} = 1,3 \times 10^3. \text{ Logo, } R_f = 1,3 \times 10^3 R_i.$$

Se R_i valer 100Ω, logo R_f valerá 130kΩ. O circuito foi montado num protoboard e alimentado por uma fonte de 12V.

4.5 Sistema de Compensação das Variações da Temperatura da Junta de Referência baseado no CI LM35

Para o sistema de compensação das variações da temperatura de JR, colocou-se o sensor de temperatura LM35 próximo a essa junta, a fim de se garantir, em média, a mesma temperatura para os dois. Desse modo, ocorrendo variações de temperatura na JR, com o LM35 instalado nas proximidades, essa variação sempre foi detectada.

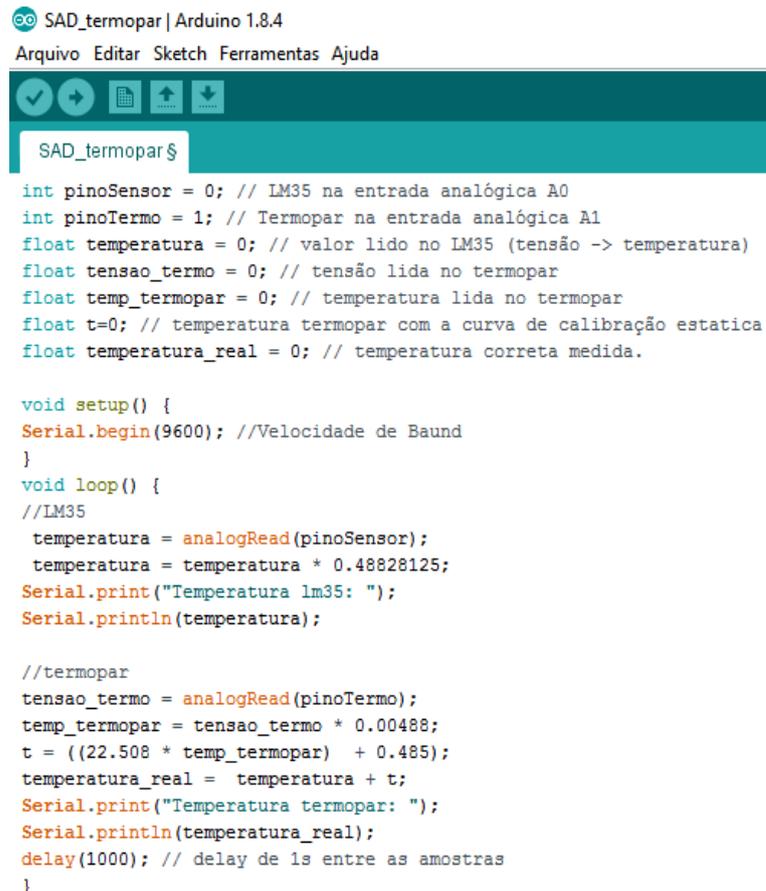
4.6 Sistema de Aquisição de Dados via Arduino

Para o sistema de aquisição de dados, utilizou-se o sensor de temperatura LM35 ligado na entrada analógica A0 do Arduino. A JM, junta de medição, ficou ligada na entrada analógica A1 do Arduino. O valor do sinal em A0 varia de 0 a 1023, onde 0 corresponde a 0 volts e 1023 corresponde a 5 volts. Se de acordo com o fabricante do LM35 1°C é igual a 10mV, daí, na Equação (3), temos:

$$\begin{aligned} \text{Tensão em A0} &= (\text{Valor lido em A0}) \cdot (5/1023) \\ \text{Temperatura_no_LM35} &= \text{Tensão em A0} / 10\text{mV} \\ \text{Temperatura_no_LM35} &= (\text{Valor lido em A0}) \cdot 0,48828125 \end{aligned} \quad (3)$$

Por fim, para se obter a temperatura corrigida, somam-se as temperaturas vindas do termopar e do sensor LM35 [TEXAS INSTRUMENTS, 2018]. O código implementado no Arduino aparece na Figura 2.

Figura 2 - Código Arduino



```
SAD_termopar | Arduino 1.8.4
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

SAD_termopar $

int pinoSensor = 0; // LM35 na entrada analógica A0
int pinoTermo = 1; // Termopar na entrada analógica A1
float temperatura = 0; // valor lido no LM35 (tensão -> temperatura)
float tensao_termo = 0; // tensão lida no termopar
float temp_termopar = 0; // temperatura lida no termopar
float t=0; // temperatura termopar com a curva de calibração estática
float temperatura_real = 0; // temperatura correta medida.

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Velocidade de Baund
}
void loop() {
  //LM35
  temperatura = analogRead(pinoSensor);
  temperatura = temperatura * 0.48828125;
  Serial.print("Temperatura lm35: ");
  Serial.println(temperatura);

  //termopar
  tensao_termo = analogRead(pinoTermo);
  temp_termopar = tensao_termo * 0.00488;
  t = ((22.508 * temp_termopar) + 0.485);
  temperatura_real = temperatura + t;
  Serial.print("Temperatura termopar: ");
  Serial.println(temperatura_real);
  delay(1000); // delay de 1s entre as amostras
}
```

4.7 Calibração Estática

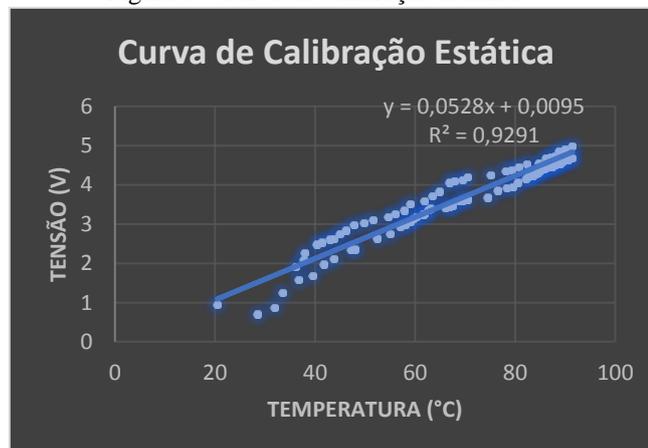
Data da calibração: 02/08/2017.

Data da documentação: 04/08/2017.

1. Sistema de medição calibrado: Termopar tipo T (Cobre/Constantan)
Faixa de medição: 20,5°C a 91,5°C.
2. Padrão utilizado: Sensor digital de temperatura disponibilizado pelo professor da disciplina.
3. Procedimento interno de calibração: Mediu-se a temperatura da água no sentido crescente e decrescente. Colocou-se a JR do termopar imersa em um recipiente com blocos de gelo, e a JM em um recipiente com água na forma líquida. O sensor de temperatura digital foi colocado no recipiente da água e o sistema foi gradativamente aquecido. Anotou-se o máximo de conjuntos temperatura-tensão possíveis de leitura no momento da calibração. Quando a temperatura da água atingiu 93°C, o aquecimento foi interrompido e os valores de temperatura-tensão em decaimento foram anotados até se atingir 28,6°C. Considerou-se que as constantes de tempo do termômetro padrão e do termopar desenvolvido têm valores próximos.
4. Condições ambientais durante a calibração: Temperatura ambiente igual a 20,5°C.
5. Resultados Obtidos.

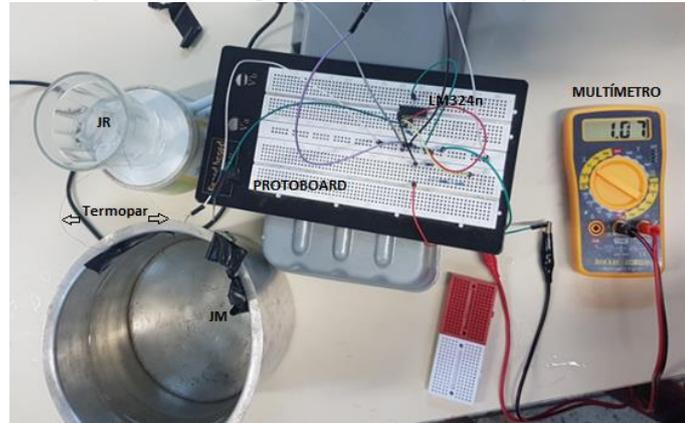
A calibração estática está sintetizada na Figura 3. A sensibilidade estática da montagem pode ser obtida através da função linear da linha de tendência de calibração $y=0,0528x+0,0095$, representada pela inclinação da curva, ou seja, $K=0,0528$ [V/°C].

Figura 3 - Curva de calibração estática



A montagem experimental utilizada está retratada na Figura 4.

Figura 4 – Termopar pronto para a calibração estática



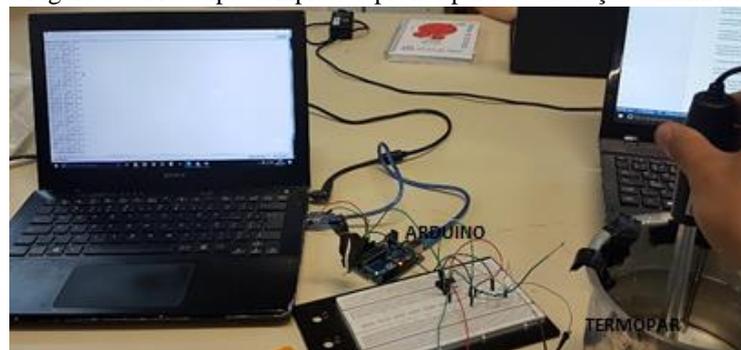
4.8 Calibração Dinâmica

Para a calibração dinâmica, o termopar foi submetido a um degrau de temperatura que correspondeu a uma variação brusca da temperatura ao mudar o local de medição do sensor. Para isso, colocou-se a junta de medição do termopar em um recipiente com água em processo de aquecimento e, assim que a temperatura atingiu 70°C, mudou-se a JM para outro recipiente com água que estava a 100°C, dando um degrau positivo de 30°C. Coletaram-se os valores de temperatura da junta de medição durante o processo e obteve-se a curva exibida na Figura 5. Nota-se na Figura 6 a presença do Arduino, uma vez que esse componente é imprescindível para a realização da Calibração Dinâmica.

Figura 5 - Reação do termopar ao degrau



Figura 6 – Protótipo completo e pronto para a calibração dinâmica



4.8.1 Função de Transferência do Sistema

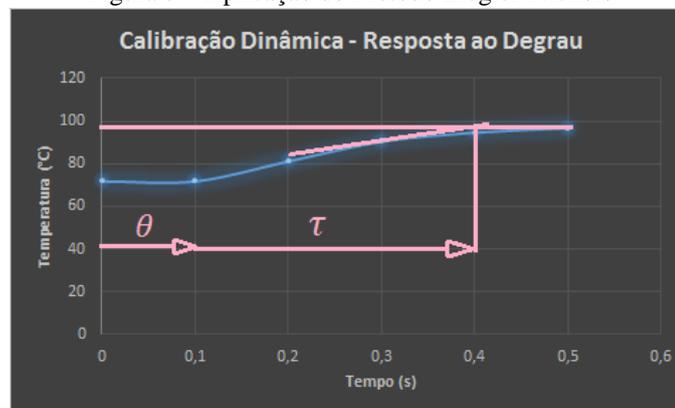
Usualmente, um termopar tende a se comportar como um sistema dinâmico de primeira ordem e sua função de transferência pode ser descrita pela Equação (4):

$$G(S) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (4)$$

Em que K é o ganho proporcional da função de transferência, τ é a constante de tempo do sistema e θ é o tempo morto, que corresponde ao intervalo de tempo em que o termopar leva para reagir à entrada aplicada (ver Figura 7).

Aplicando o método de obtenção dos parâmetros dado por Ziegler-Nichols [ZIEGLER&NICHOLS, 1942] na curva de calibração dinâmica encontrada, tem-se aproximadamente que $\theta=0,1s$, $\tau=0,3s$ e $K=30$.

Figura 7 – Aplicação do Método Ziegler-Nichols



Portanto, a função de transferência $G(s)$ está descrita na Equação (5):

$$G(S) = \frac{30e^{-0,1s}}{0,3s + 1} \quad (5)$$

A partir dela, uma série de estudos a respeito do comportamento dinâmico do protótipo pode ser obtida.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste artigo um exemplo de implantação do método ABP na disciplina de Instrumentação do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFOP, para o projeto, a construção e a calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar. A metodologia ABP abordada promoveu uma maior motivação dos membros do grupo, uma vez que a aprendizagem foi além daquela que seria adquirida via abordagem tradicional. A propósito, a ABP adequa-se muito bem ao ensino de Engenharia, pois proporciona o desenvolvimento de habilidades que o engenheiro deve possuir, tais como: capacidade de autoaprendizagem contínua, integração de conhecimentos, capacidade de solucionar problemas, entre outras. Além disso, pelo fato de os integrantes terem trabalhado em grupo, eles tiveram que aprender a respeitar opiniões diversas e a construir consensos.

Com relação à parte prática do trabalho, várias habilidades e conhecimentos foram adquiridos. O termopar construído foi implementado com sucesso embora algumas simplificações tenham sido feitas. A comprovação do efeito Seebeck também foi muito interessante. Por outro lado, ao se comparar os dados de calibração obtidos com os dados tabelados de um termopar tipo T comercial, embora os valores estivessem bem próximos, observaram-se alguns desvios entre eles. Tais desvios podem ser explicados pelo fato de utilizarmos material comum para a construção do termopar, além de materiais de diâmetros diferentes daqueles usados pelos principais fabricantes, isso sem contar no padrão de temperatura utilizado por eles. As calibrações estática e dinâmica foram realizadas com sucesso. A partir da curva de reação de Ziegler-Nichols obtida com a aplicação de um degrau positivo de temperatura na entrada do sistema, os parâmetros τ , θ e K foram estimados. De posse desses parâmetros, a função de transferência do sistema pôde ser conhecida.

Por fim, como trabalhos futuros, se sugere que o protótipo seja expandido e que contemple alguma técnica de inteligência artificial para auxiliar o usuário na sua tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, W. J.; LOPES, R. P.; FILHO, D. O.; BARROS, P. M. M.; OLIVEIRA, R. A. Aprendizagem por Problemas no Ensino de Engenharia. **Revista Docência Ens. Sup.**, v. 6, n. 1, p. 57-90, 2016.

BARROWS, H. S. A Taxonomy of Problem-Based Learning methods. **Medical Education**, v.20, p. 481-486, 1986.

ECIL. **Termopar tipo T**. Disponível em: <http://www.ecil.com.br/temperatura-industrial/termopares/termopar-tipo-t/>. Acesso em: 29 abr. 2018.

LOPES, G. N. Aprendizagem Baseada em Problema com Aplicações em Ciências Agrárias – Uma proposta para o CCA/UFRR. **Revista Agro@mbiente**, v. 1, p. 43-49, 2007.

MELO, N. B.; NETO, J. A. F.; CATÃO, M. H. C.; BENTO, P. M. B. Metodologia da Problematização e Aprendizagem Baseada em Problemas na Odontologia: análise bibliométrica dos trabalhos apresentados nas Reuniões da SBPqO. **Revista da ABENO**, v.17, n.2, p. 60-67, 2017.

MOREIRA, Lucia. Medição de Temperatura Usando-se Termopar. **Revista Cerâmica Industrial**, v.7, n.5, p. 51-53, 2002.

OMEGA Engineering Brasil. **Saiba o que é um Termopar**. Disponível em: <https://br.omega.com/prodinfo/termopares.html>. Acesso em: 29 abr. 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35**. Disponível em: <http://www.ti.com/product/LM35>. Acesso em 15/05/2018.

RIBEIRO, L. R. C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em Engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 27, p. 23-32, 2008.

ROCHA, J. P. M.; MENDES, M. S.; MEDEIROS, T. I. O.; JÚNIOR, A. G. C. Um exemplo do uso da ABP na disciplina de Instrumentação Eletrônica do IFPB – MINI GELADEIRA PELTIER Controlada por Arduino. In: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2013, Porto Alegre. Anais. Gramado, 2013.

ZIEGLER, J. G. & Nichols, N. B. *Optimum Settings for Automatic Controllers*. **Trans. ASME**, Vol. 64, 1942, s. 759-768.

PROJECT, CONSTRUCTION AND CALIBRATION OF A THERMOCOUPLE FOLLOWING THE PROBLEM-BASED LEARNING METHODOLOGY

Abstract: *A pedagogical and very well structured way of increasing students' interest and, consequently, reducing the avoidance rates of the Electrical Engineering, Electronics, Control and Automation, and Mechatronics courses, is based on the elaboration of multifunctional prototypes involving concepts such as electro-electronics, instrumentation, control and automation. The union of theoretical and practical content of ongoing or already completed courses combined with the teaching methodology Problems Based Learning (PBL) has been shown as a very powerful motivational tool. On presents in this paper the design, construction and calibration of a thermocouple type temperature sensor, which is later interconnected to an Arduino type electronic prototyping platform configured to acquire and process the temperature data measured with the developed sensor. At the end of the work, the project participants are expected to obtain a more integrated and comprehensive view of the various contents covered during the Undergraduate Course of Control Engineering and Automation of the School of Mines (EM) of the Federal University of Ouro Preto (UFOP) and to be able to solve the problems they face in the future with greater discipline and resourcefulness. Also, it is expected that the act of teaching the subject 'Instrumentation' gets more interesting and productive with the proposal presented here.*

Keywords: *Problem-Based Learning. Electronic Instrumentation. Data Acquisition Systems. Thermocouple.*