



CALIBRAÇÃO DE UM TERMOPAR TIPO K PARA SER UTILIZADO EM UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COM O ARDUINO



CALIBRATION OF A TYPE K THERMOCOUPLE FOR USE IN A DATA ACQUISITION SYSTEM WITH THE ARDUINO

ROMIO, Cristiane^{1*}; LORSCHTEITER, Thiago Aguirre²; SILVA, Isaac Newton Lima³;

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUCRS. Faculdade de Engenharia, Engenharia Química. Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Bloco B - Sala 101. CEP: 90619-900 Porto Alegre - RS - Brasil.

² Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUCRS. Faculdade de Engenharia, Controle e Automação. Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Bloco B - Sala 101. CEP: 90619-900 Porto Alegre - RS - Brasil.

³ Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUCRS. Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PGTEMA. Avenida Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Bloco D - Sala 107. CEP: 90619-900 - Porto Alegre - RS. Brasil.

* Autor correspondente
e-mail: cristiane.romio@acad.pucrs.br

Received 23 November 2011; received in revised form 19 December 2011; accepted 03 January 2012

RESUMO

Termopares são sensores de temperatura muito utilizados, porém deve-se constantemente averiguar se os valores indicados por eles são confiáveis. Quando os limites de erro toleráveis forem ultrapassados ou quando se desejar aumentar a confiabilidade dos resultados, calibrações devem ser realizadas. Este trabalho abordou as principais fontes de erros nas leituras dos termopares e quais são os meios de corrigir as leituras. Por meio de uma calibração, foi realizada uma melhoria no *software* Arduino LDA que passou a incluir a Equação de ajuste de curva em seu código fonte, enviando ao sistema *Lorscheiter Viewer* informações correlacionadas com um instrumento de medição previamente calibrado por um laboratório certificado.

Palavras-chave: *Aquisição de dados, Arduino e MS-Visual Studio, Expressão gráfica de sinais analógicos, Medição de temperatura, Lorscheiter Viewer.*

ABSTRACT

Thermocouples are temperature sensors widely used, but the reliability of the values indicated by them must be constantly checked. When the tolerable error limits are exceeded or when one wishes to increase the reliability of results, calibration should be performed. This text will address what are the main sources of errors in thermocouples and what are the ways to calibrate them. By a calibration, it was performed an improvement in LDA Arduino software, which now includes the Equation of a fitting curve in your source code, sending information to the system *Lorscheiter Viewer* correlated with a measuring instrument calibrated by a certified laboratory.

Keywords: *Data acquisition, Arduino and MS-Visual Studio, Graphical expression of analog signals, Temperature measurement, Lorscheiter Viewer.*

INTRODUÇÃO

Termopares são sensores de temperatura amplamente utilizados devido à simplicidade de construção e operação, à fácil utilização e ao baixo custo. Porém, para que as medidas de temperatura sejam confiáveis, é necessário que constantemente se verifique se os valores de temperatura indicados por esses instrumentos estão dentro dos limites de erro toleráveis. Calibrações devem ser realizadas toda vez que esses limites forem ultrapassados ou quando se desejar aumentar a precisão das medidas.

A calibração de um instrumento consiste no conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, uma relação entre os valores fornecidos por um instrumento de medição e os estabelecidos por um padrão (INMETRO, 2009).

A seguir, será apresentada uma explanação sobre o funcionamento dos termopares para que se entendam quais são as principais fontes de erros nas medidas e como a calibração pode ser realizada.

TERMOPARES

Ao se conectar dois metais diferentes (ou ligas metálicas), tem-se um circuito tal que, se as junções forem mantidas em temperaturas diferentes, uma f.e.m. termoelétrica surgirá. Esse circuito é chamado de par termoelétrico ou termopar (PIRES *et al*, 2006). Essa f.e.m. é dita "tensão ou f.e.m Seebeck", em homenagem a Thomas Seebeck que, em 1821, descobriu esse fenômeno (chamado "Efeito Seebeck") (GÜTS e PAULO, 1998).

Se o circuito é interrompido em um ponto qualquer, pode-se medir, através de um voltímetro, uma diferença de potencial que é função da diferença de temperatura das duas junções e do tipo de material dos fios (GÜTS e PAULO, 1998). O termopar, portanto, difere da maioria dos outros sensores de temperatura, uma vez que sua saída não está diretamente relacionada à temperatura, mas sim ao gradiente de temperatura, ou seja, à diferença de temperatura ao longo do fio termopar. Conhecida a temperatura de uma das junções, pode-se, através da f.e.m. medida, saber a temperatura da outra junção (PIRES *et al*, 2006).

O circuito de um termopar é ilustrado na Fig. 1. Esse termopar é formado pelos metais A e B, unidos em suas extremidades. Uma junção é a de medição (também chamada de junta quente) e a outra é a junção de referência (ou junta fria) (MOREIRA, 2002). Ambas estão em ambientes isotérmicos, cada uma numa temperatura diferente (T_1 e T_2). O voltímetro V está medindo a diferença de potencial gerada.

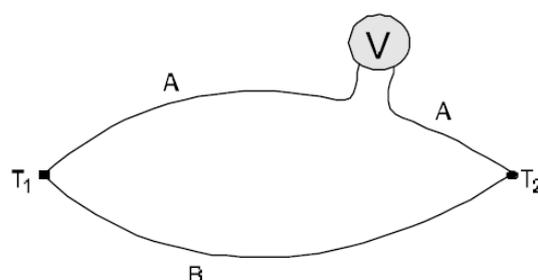


Figura 1 – O termopar
Fonte: GÜTS e PAULO, 1998

Procura-se manter a junta de referência em locais onde as flutuações de sua temperatura sejam pequenas, visto que podem causar erros nas aplicações práticas dos termopares (PIRES *et al*, 2006).

Quando um terceiro material homogêneo for adicionado a um circuito, a f.e.m. do mesmo não será afetada, desde que suas extremidades estejam a uma mesma temperatura. Ou seja, o termopar formado pelos materiais A e B não será afetado pela adição do material C, se $T_3 = T_4$ e $T_5 = T_6$, como está indicado na figura 2. É comum que se adicionem fios de materiais com grau de pureza inferior àqueles definidos por norma para fabricação de termopares com o objetivo reduzir o custo da instalação. Esses fios são chamados de fios de extensão (GÜTS e PAULO, 1998).

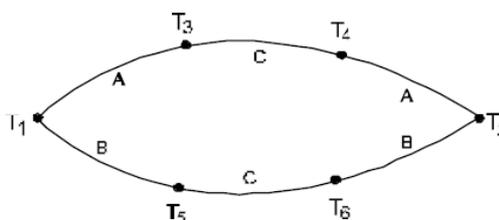


Figura 2 – Adição de fios intermediários

Fonte: GÜTS e PAULO, 1998

Atualmente, os principais termopares utilizados são os de tipo J (*ferro-constantan*), K (*cromel-alumel*), T (*cobre-constantan*), E (*cromel-constantan*) e os termopares nobres (que têm a platina como elemento básico) tipo S, R e B. (GRIZA *et al*) A escolha dos materiais depende da faixa de trabalho (máxima e recomendável), da precisão e da diferença de tensão gerada na faixa de trabalho, e da resistência dos materiais às condições de processo (PIRES *et al*, 2006).

CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES

Todos os termopares em serviço estão sujeitos a desvios de calibração (IOPE). As principais fontes de incertezas em termopares são: introdução de fios de extensão entre o ponto de medição e a junção de referência (GÜTS e PAULO, 1998), não homogeneidade das ligas (IOPE) ou das emendas que se fazem entre o termopar e os fios de extensão (MOREIRA, 2002), tensões mecânicas nos fios, choques térmicos, exposição a altas temperaturas e a ambientes agressivos (IOPE). Genericamente, qualquer modificação na resistência dos fios de um termopar, causará discrepâncias entre os valores lidos pelo termopar e os valores reais de temperatura.

Essas incertezas podem ser bastante reduzidas calibrando-se o termopar na faixa de temperatura de uso. No caso do uso de fios de extensão, deve-se calibrar o sistema com estes fios (GÜTS e PAULO, 1998). A importância da verificação do termopar varia de acordo com a aplicação, mas a maioria tem por objetivo maior precisão (IOPE).

A calibração de sensores de temperatura pode ser realizada por métodos absolutos ou por métodos comparativos.

- Métodos Absolutos: Os métodos absolutos são aqueles em que o dispositivo a calibrar é imerso em um meio com temperatura intrinsecamente conhecida. Este meio, via de regra, é um ponto fixo de transformação de fase de substâncias puras. Como exemplos, podem ser citados o ponto tríplice da água, o ponto de gelo, o ponto de solidificação do zinco, etc. (TERMOPARES). Este é um método de extrema precisão, porém de dificuldade de realização, pois exige um laboratório altamente sofisticado, assim como instrumentos padrões para a leitura (IOPE).

- Métodos Comparativos: São métodos onde o sensor a calibrar tem sua indicação comparada com as de um padrão de referência, geralmente mais exato. O ensaio consiste em imergir ambos em um meio térmico uniforme e estável, cuja temperatura possa ser controlada na faixa requerida. A exatidão das calibrações realizadas através de métodos comparativos depende de parâmetros ligados ao meio térmico utilizado. Um bom meio deve garantir, da melhor maneira possível, que o padrão de referência e o sensor a calibrar estejam em equilíbrio térmico entre si (TERMOPARES). A aferição por comparação é um método suficientemente preciso e de relativa facilidade de obtenção, não exigindo laboratórios sofisticados como no caso da aferição por pontos fixos (IOPE).

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. LISTA DE MATERIAIS E SOFTWARES

1 computador com sistema operacional MS-Windows Xp (equivalente ou superior)¹;
Software MS-Visual C# 2010 Express² ou MS-Visual Studio³;
Software Arduino 0022⁴;
Software .NET Framework 4⁵;
MAX6675 Arduino library code⁶;
1 Arduino Mega 1280;
1 termopar tipo K ;
1 termômetro de mercúrio;
1 *shield* com o conversor A/D MAX6675;
Cabos e conectores em quantidade suficiente;
Equipamento para confecção de circuitos elétricos;
1 copo de *Becker* de 100ml;
Chapa de aquecimento com agitador magnético.

1 Vide referência do MS-Windows 7.

- 2 Vide referência do MS-Visual C# Express
- 3 Vide referência do MS-Visual Studio 2010.
- 4 Vide referência do Arduino 0022.
- 5 Vide referência do .NET Framework 4.0
- 6 Vide referência do MAX6675 Arduino library code

2.2. O MAX6675

O componente eletrônico, MAX6675, amplifica e faz conversão do sinal analógico, gerado pelo termopar, para um sinal digital de 12 bits, capaz de ser interpretado pelo Arduino.

A confecção da placa pode ser manufaturada (LORSCHETER *et al*, 2011a) ou fabricada por empresas especializadas. Um circuito elétrico é fornecido pelo fabricante do componente para alimentação e filtragem de ruído.

A medida efetuada é convertida e enviada para o micro-controlador e enviada em formato decimal para o computador.

2.3. Arduino Mega

Depois de conectado ao computador, utiliza-se o código Arduino L.D.A. 1.1 (LORSCHETER *et al*, 2011a), inserido no Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino, com algumas modificações (Código 1).

2.4. Utilizando o Lorscheiter Viewer Calibration

O aplicativo (Figura 3) é um *plugin* do *software* Lorscheiter Viewer (LORSCHETER *et al*, 2011b), desenvolvido para a calibração de termopares. Distribuído sob a licença GNU (2007), o *plugin* faz as leituras dos valores recebidos através do USB via Arduino para mostrar graficamente no Lorscheiter Viewer as diferença nas leituras em tempo real. Posteriormente, através de ajuste linear é calculado o coeficiente para correção do valor indicado pelo termopar.

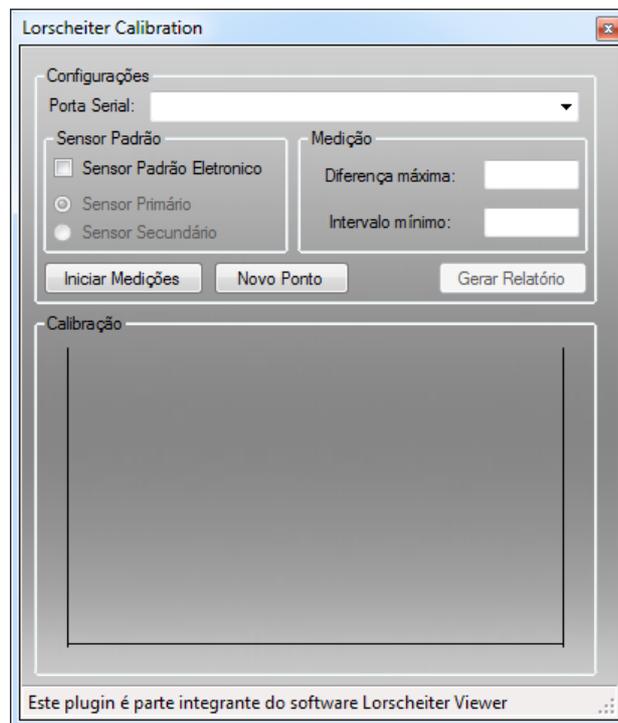


Figura 3 - Lorscheiter Viewer Calibration

2.5. Métodos

A placa A/D MAX6675A foi montada e o termopar foi conectado a esta. O A/D MAX6675 foi conectado ao Arduino e este ao computador.

O termopar e o termômetro padrão foram inseridos em um copo de *Becker* contendo água e dispostos um ao lado do outro, onde a diferença de temperaturas seria mínima ou desprezível, conforme a Figura 4.

Selecionou-se a porta serial que seria utilizada; a diferença máxima seria a máxima diferença entre o padrão e o termopar a ser calibrado. A calibração foi iniciada, assim como o aquecimento e a agitação da água contida no *Becker*.

Foram lidas as temperaturas indicadas pelo termopar e pelo termômetro ao longo do aquecimento da água de 9 até 80°C. Depois disso, foi realizado um ajuste linear a fim de corrigir os valores de temperatura lidos pelo termopar de acordo com os indicados pelo termômetro padrão.

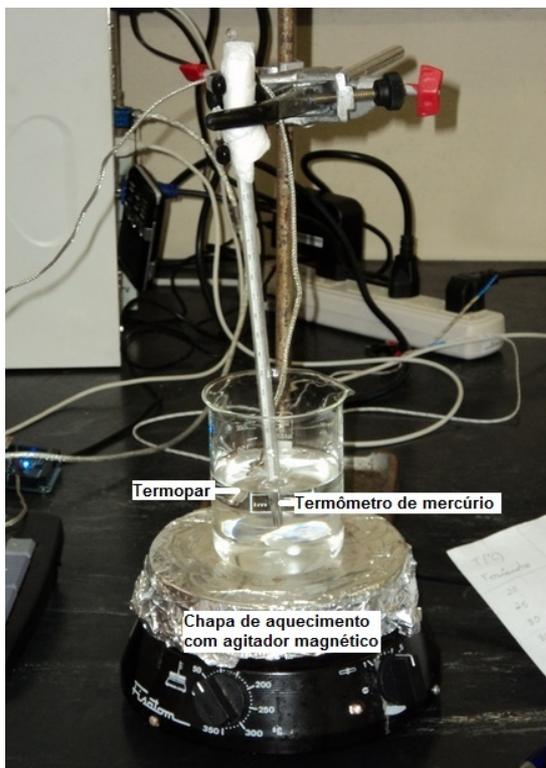


Figura 4 – Disposição dos instrumentos de medição de temperatura

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Tabela 1, estão apresentadas as temperaturas indicadas pelo sensor padrão e pelo termopar e as diferenças entre elas.

Tabela 1 – Temperaturas lidas pelo padrão e pelo termopar

Temperatura lida pelo termopar (°C)	Temperatura lida pelo sensor padrão (°C)	Diferença de temperatura (°C)
12,5	9	3,5
19,15	15	4,15
23,75	20	3,75
28,75	25	3,75
33,25	30	3,25
38,75	35	3,75
43,25	40	3,25
48,75	45	3,75
53,75	50	3,75
58,25	55	3,25
63,75	60	3,75
68,75	65	3,75
74,25	70	4,25

79,25	75	4,25
84,75	80	4,75

O ajuste linear dos dados forneceu a Equação 1:

$$T = 0,9907 \cdot T_0 - 3,3401 \text{ (Equação 1)}$$

Onde T_0 é a temperatura indicada pelo termopar e T é a temperatura corrigida (que seria indicada pelo sensor padrão).

O coeficiente de determinação do ajuste foi 0,9997, indicado que a equação é adequada para corrigir os valores de temperatura indicadas pelo termopar na faixa de temperatura em que se realizou a calibração.

A curva de ajuste linear, a equação da reta e o coeficiente de determinação (R^2) dos dados experimentais estão ilustrados no Gráfico 1.

CONCLUSÕES

A calibração de sensores de temperatura pode ser realizada por métodos absolutos ou por métodos comparativos. Esta deve ser realizada para que as medidas de temperatura forneçam valores confiáveis. Os termopares estão sujeitos a desvios de calibração com o uso; quando a resistência elétrica de seus elementos for modificada, portanto podem indicar valores de temperatura diferentes dos que deveriam.

A calibração do termopar tipo K foi realizada, por um método comparativo, corrigindo os valores obtidos a partir dele com os obtidos por um sensor padrão, no caso, um termômetro de mercúrio (calibrado pelo LABELO³). A calibração realizada foi satisfatória, pois os valores apresentados pelo termopar passaram a ser muito próximos dos valores apresentados pelo termômetro de referência. Este método de calibração deve ser aplicado sempre que necessário e não houver a necessidade da calibração ser feita por um laboratório certificado.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) da PUCRS.

³ LABELO - Laboratórios Especializados em Eletro-Eletrônica, Calibração e Ensaios.

REFERÊNCIAS:

1. INMETRO, Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008), 1ª edição brasileira, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/VIM_2310.pdf>. Acesso em Novembro 2011.
2. PIRES, D. P. L., AFONSO, J. C., CHAVES, F. A. B., A termometria nos séculos XIX e XX, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 101 - 114, 2006. Disponível em: <http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/v28_101.pdf>. Acesso em Novembro 2011.
3. GÜTS, S., PAULO, V. DE, Instrumentação em ciências térmicas, 1998. Disponível em: <<http://emc.ufsc.br/labtermo/Pdf/apostilainstrum.pdf>>. Acesso em Novembro 2011.
4. MOREIRA, L., Medição de temperatura usando-se termopar, **Cerâmica Industrial**, Setembro / Outubro, 2002. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v07n05/v7n5_6.pdf>. Acesso em Novembro 2011.
5. GRISA, E., SUZIN, E., FREIER, R., Sensores de Temperatura. Disponível em: <<http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/temp1.pdf>>. Acesso em Novembro 2011.
6. IOPE, Aferição de termopares. Disponível em: <http://www.iope.com.br/3ia7_termopares.htm>. Acesso em nov 2011.
7. TERMOPARES, Técnicas de calibração. Disponível em: <<http://www.termopares.com.br/calibracaotctecnicas/index.asp>>. Acesso em nov 2011.
8. MS-Windows 7. Disponível em: <<http://windows.microsoft.com/pt-BR/windows/home>>. Acesso em Novembro 2011.
9. MS-Visual C# Express. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/visual-csharp-express>>. Acesso em Novembro de 2011.
10. MS-Visual Studio 2010. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/visualstudio/pt-br>>. Acesso em Novembro de 2011.
11. Arduino 0022. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/Software>>. Acesso em Novembro 2011.
12. .NET Framework 4.0. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/pt-br/netframework/default.aspx>>. Acessada em Novembro 2011.
13. MAX6675 Arduino library code. Disponível em: <<https://github.com/adafruit/MAX6675-library>>. Acesso em Novembro 2011.
14. LORSCHTEITER, T. A.; PAIN, J. P. S.; DE BONI, L. A. B.; SILVA, I. N. L. Utilização do MS-Visual Studio e do Arduino para medições de temperatura, **Tchê Química**, Porto Alegre, v. 8, n. 16, p. 61, 2011a.
15. LORSCHTEITER, T., PAIM, J. P., DE BONI, L. A. B., Lorscheiter Viewer Scientific Software, 2011b. Disponível em: <<http://www.lviewer.tk/>>. Acesso em Novembro 2011.
16. GNU Free Documentation License. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License>. Acesso em Novembro de 2011.

Código 1 (inserido no Arduino)

```
/*  
ARDUINO L.D.A. (Leitor de Dados do Arduino) 1.1.  
(Julho, 2012)
```

```
Este programa envia dados de vários sensores  
através da porta serial em 115200 bauds na forma de  
vetores para serem graficamente representados em  
um PC pelo programa Lorscheiter Viewer 1.2 (ou  
superior ou equivalente)
```

Referências do programa estão disponíveis em:

```
*http://www.ladyada.net/learn/sensors/thermocouple.html
```

```
*http://people.rit.edu/lffeee/Processing\_Display\_Analog\_Signal\_Fuller.pde
```

*http://www.interactiondesign.se/wiki/courses:2010.12.01.intro_prototyping

Copyright (C) <2011> <Luis Alcides Brandini De Boni>
labdeboni@gmail.com

This program is free software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <<http://www.gnu.org/licenses/>>.

```
*/  
  
//The comments inside the code are not translated yet.  
  
#include "max6675.h" //chama a biblioteca do  
MAX6675, que foi previamente  
//instalada na pasta "libraries" do IDE do  
Arduino.  
  
//Primeiro termopar  
int thermoDO = 4; //DO (Saída de dados)  
int thermoCS = 5; //CS (chip select)
```

```
int thermoCLK = 6; //CLK (Relógio)  
  
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS,  
thermoDO); // termopar 1  
//Primeiro termopar  
int vccPin = 3;  
int gndPin = 2;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  // Configura os pinos do Arduino como GND e VCC  
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin,  
HIGH);  
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin,  
LOW);  
}  
  
void loop() {  
  Serial.print(thermocouple.readCelsius()); // termopar  
  1  
  Serial.println( );  
  
  double curvaCalibrada =  
thermocouple.readCelsius();  
  double readCelsiusX = (0,9907* curvaCalibrada -  
3,3401);  
  Serial.print(readCelsiusX); // termopar 1  
  Serial.println( );  
  
  delay(1000);  
}
```

Curva de calibração do termopar tipo K

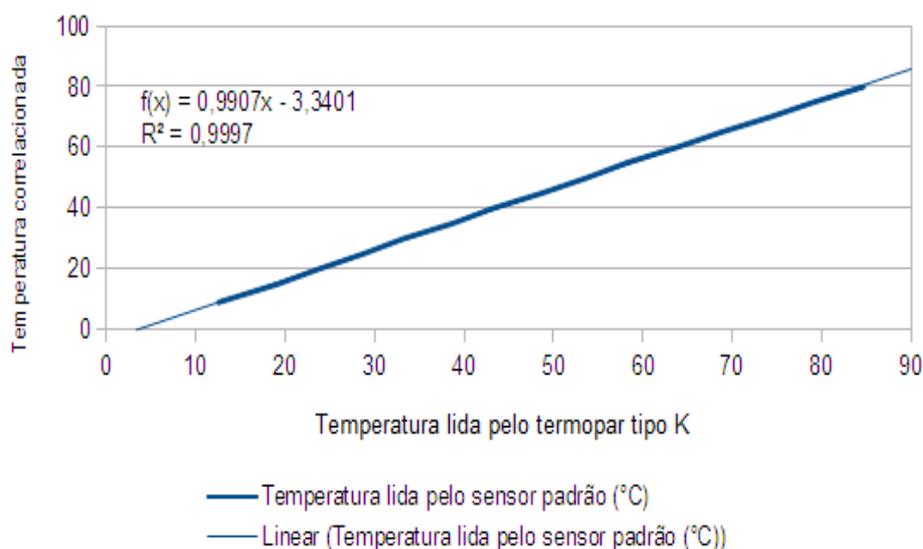


Gráfico 1 – Curva de ajuste linear