

CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES ATRAVÉS DE SOFTWARE DE REGRESSÃO POLINOMIAL

Autores: David Roza JOSÉ¹, Fernando Prando DACAS², Lucas BARP².

¹ *Mestre em Engenharia Mecânica, professor do Instituto Federal Catarinense (IFC), Campus Luzerna, Brasil.*

² *Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Catarinense (IFC), Campus Luzerna, Brasil.*

Introdução

O termopar é um sensor termoelétrico, formado por dois materiais com propriedades termoelétricas diferentes, que mede temperaturas ao gerar uma diferença de potencial que pode ser lida por aparelho específico. Este valor é então correlacionado aos valores de temperatura de um termômetro calibrado e rastreado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) num processo conhecido como calibração.

Como qualquer outro instrumento de medição os termopares podem apresentar erros de leitura devido ao desgaste em função do ambiente instalado, da oxidação e de avarias. Isto significa que o equipamento realizaria medições de valores incompatíveis com os valores reais, indicando que o instrumento necessita de uma nova calibração.

O processo de calibração costuma ser feito manualmente, tornando o processo moroso e sujeito a erros: de arredondamento, gráficos e até mesmo erros grosseiros. Para ocupar este nicho, desenvolveu-se um software que tem por finalidade agilizar processo e minimizar os possíveis erros da intervenção humana.

O software tem por objetivo ajustar o melhor polinômio – linear, quadrático ou cúbico – a fim de minimizar o erro do ajuste e fornecer seus coeficientes ao usuário.

Material e Métodos

Para a calibração de termopares é necessário um termômetro padrão com certificado rastreado pelo INMETRO, e um banho adequado onde o termopar a ser calibrado e o termômetro serão imersos.

Inicialmente são escolhidos vários pontos de temperatura fixas, normalmente pontos de fusão, solidificação, sublimação ou pontos tríplexes. Em cada ponto de temperatura [°C] pré-estabelecido será anotado o valor correspondente de tensão [mV], sendo que estes são obtidos através da medição de tensão elétrica nos terminais do termopar através de um

voltímetro também calibrado e rastreado pelo INMETRO. Para este procedimento é orientado a coleta de pelo menos três séries de dados com os mesmos VVC (valor verdadeiro convencional), a fim de obter uma média dos valores, para se proceder ao cálculo do polinômio.

Normalmente este processo é realizado manualmente, e a depender da quantidade de dados a serem tratados depende-se tempo em excesso além de sujeitar os cálculos a erros. Com o intuito de otimizar o processo foi desenvolvido um software de programação iterativa. O mesmo utiliza o método de regressão polinomial, que pode ser aplicado para calcular o polinômio característico do conjunto de pontos. Uma curva é gerada a fim de se melhor adequar aos dados de entrada do termopar.

Para o método da regressão polinomial inicialmente considera-se o polinômio genérico mostrado em (1).

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + e \quad (1)$$

A derivada do somatório dos quadrados em relação a cada coeficiente desconhecido é igualada a zero [2] a fim de se minimizar o erro. As equações obtidas são introduzidas em na matriz genérica (2) a fim de se resolver o sistema.

$$\begin{bmatrix} \binom{n}{0}a_0 & \left(\sum x_i\right)a_1 & \left(\sum x_i^2\right)a_2 & \dots & \left(\sum x_i^m\right)a_n \\ \left(\sum x_i\right)a_0 & \left(\sum x_i^2\right)a_1 & \left(\sum x_i^3\right)a_2 & \dots & \left(\sum x_i^{m+1}\right)a_n \\ \left(\sum x_i^2\right)a_0 & \left(\sum x_i^3\right)a_1 & \left(\sum x_i^4\right)a_2 & \dots & \left(\sum x_i^{m+2}\right)a_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\sum x_i^m\right)a_0 & \left(\sum x_i^{m+1}\right)a_1 & \left(\sum x_i^{m+2}\right)a_2 & \dots & \left(\sum x_i^{m+n}\right)a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^m y_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

A curva ideal pode ser observada a partir do coeficiente de correlação (r^2). Este coeficiente explica a variabilidade dos dados, e pode variar de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, melhor é o ajuste da curva aos pontos coletados. O coeficiente de correlação pode ser calculado pela equação (3):

$$r^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2}{\sum (y_i - \hat{y})^2} \quad (3)$$

Resultados e discussão

Para validar o método utilizado, os valores de temperatura e tensão, que são os dados de entrada do algoritmo, foram retirados de relatórios de calibração já existentes e validados pelo INMETRO.

Sabendo que é necessário no mínimo três medições de dados, e como o relatório já apresentava a média das medições, foi feita uma simulação de três séries distintas a partir dos dados encontrados. Conforme Tabela 01.

Temperatura [°C]	Serie 01 [mV]	Serie 02 [mV]	Serie 03 [mV]
1200	37,218	58,520	50,034
878	33,090	44,880	30,770
550	22,393	20,268	28,262
222	05,424	19,655	13,255
-100	-12,486	07,846	-09,387

Tabela 01: Tabela de dados de entrada

Com estes valores, o algoritmo programado calcula a média das três séries e o desvio padrão, conforme apresentado na Figura 01.

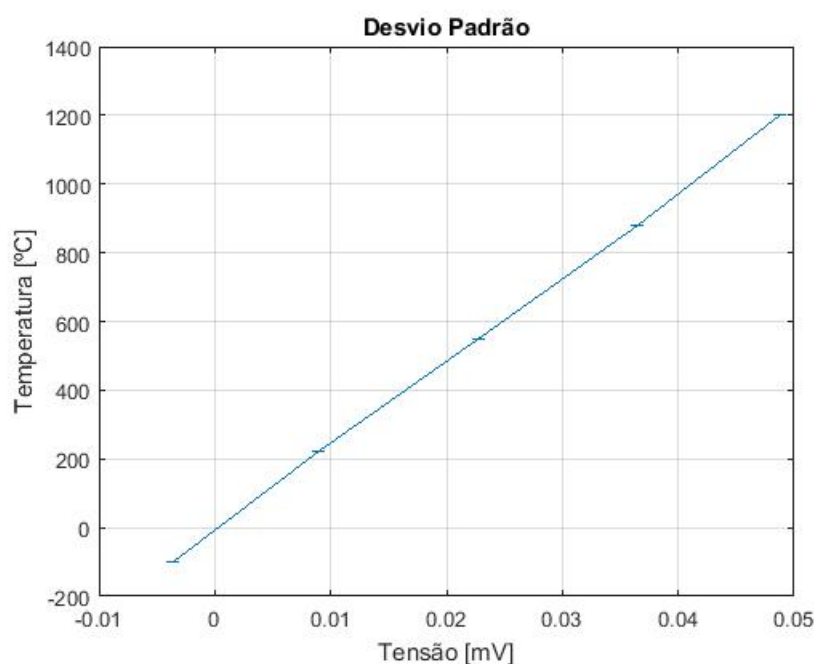


Figura 01: Desvio Padrão

Com a média dos valores de tensão e temperatura, é aplicado o algoritmo de regressão polinomial, onde o resultado dos coeficientes da matriz são os índices do polinômio característico.

No software em questão é possível escolher entre regressão linear, quadrática ou cúbica. Caso não se faça a escolha prévia, o algoritmo analisa e decide qual é mais adequado para o caso, pelo maior coeficiente de correlação.

Para os dados apresentados acima, o polinômio que se adequou melhor foi de terceiro grau, como pode ser observado no polinômio abaixo e na Figura 02.

$$1887076,94x^3 - 121371,96x^2 + 26129,49x - 4,2445 = 0$$

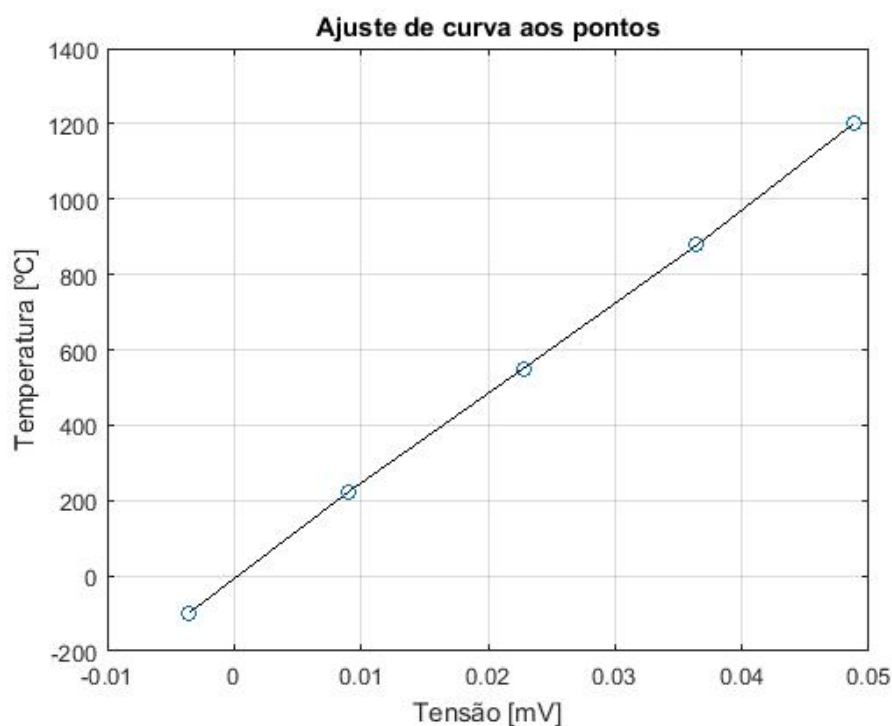


Figura 02: Polinômio característico aos pontos

O coeficiente de correlação (r^2) para esta curva é de 0,9993. Isso indica que 99,93% dos pontos estão podem ser explicados pela equação fornecida para a regressão.

Para verificação os valores de temperatura calculados pelo polinômio podem ser comparados com o ideal, como pode ser observado na Tabela 02:

Tempe. Ideal [°C]	Temp. Calculada [°C]	Erro [%]
1200,0	1202,2	1,83
878,0	878,2	0,02
550,0	550,2	0,03
222,0	223,0	0,45
-100,0	-98,7	1,3

Tabela 02: Erro entre ideal e calculado

Conclusão

Os resultados foram satisfatórios, pois elimina-se a maior parte do erro humano e o tempo de processamento é severamente reduzido. A programação do software pode ser ainda otimizada e diminuir ainda mais o tempo de processamento.

O algoritmo utilizado para o desenvolvimento deste artigo pode ser expandido para a calibração de diversos tipos de instrumentos; não se limitando somente ao ambiente do Campus e podendo ser adequado às necessidades de utilização de empresas e terceiros.

Referências

- [1] CONTROLE, A. I. e. Fundamentos e Recomendacoes de Calibracao de Termopares. Disponível em: <<http://www.analogica.com.br/arquivos/nota-tecnica-sobrecalibracao-de-termopares.pdf>>.
- [2] CHAPRA, S. C. Metodos Numericos Aplicados Com Matlab Para Engenheiros e Cientistas. 3. ed. [S.l.]: Mc Graw Hill, 2013. v. 1. ISBN 9788580551761.
- [3] VALLE, M. E. Interpolacao Polinomial. Disponível em: <<http://www.ime.unicamp.br/valle/Teaching/2015/MS211/Aula19.pdf>>.
- [4] CONTROLES, H. E. Tabela do Termopar Tipo k. Disponível em: <<http://sensorestempera.com.br>>.
- [5] VIEIRA, T. O. H. D. O EFEITO DA ESTABILIZACAO TERMICA NA CALIBRACAO DE TERMOPAR TIPO K. Disponível em: <<http://www.vertent.net/remesp/enqualab2008/cdrom/pdf/TT026.pdf>>.
- [6] RELATORIO DE CALIBRAÇÃO, Disponível em: <<http://www.microlider.com.br/Arquivos%5C6342-09.pdf>>.