



## EQUIPAMENTO PARA AFERIÇÃO DE TERMOPARES E OUTROS TRANSDUTORES DE TEMPERATURA

### João Pereira de Brito Filho

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Eletrônica e Sistemas – Av. Acadêmico Hélio Ramos, SN – Cidade Universitária - 50670-901 – Recife – PE – Brasil - [jbrito@npd.ufpe.br](mailto:jbrito@npd.ufpe.br)

### Zílcio de Lavor Sales

Universidade de Pernambuco - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Elétrica – Rua Benfica, 445 – Madalena – 50 750-410 – Recife – PE - Brasil

*Resumo. A utilização de termopares na medição de temperatura em processos industriais é bastante comum, uma vez que este tipo de transdutor apresenta inúmeras vantagens em relação aos outros tipos de transdutores utilizados nesse tipo de medição. No entanto, as informações fornecidas pelo fabricante sobre a função temperatura versus tensão termoelétrica refletem apenas valores médios. Existe, portanto, a necessidade de construir-se uma tabela de correção para o termopar particular utilizado sempre que o erro embutido na tabela de correção do fabricante não puder ser aceito. Neste trabalho descreve-se o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de aferição de termopares controlado inteiramente por um microcomputador.*

*Palavras-chave: termopar, calibração.*

## 1. INTRODUÇÃO

A medição de temperatura permite que se obtenham informações a respeito de diversos fenômenos da natureza, assumindo por isso grande importância nos dias de hoje. Um dos transdutores mais utilizados na indústria para a medição de temperatura é o termopar. As tabelas de calibração fornecidas pelos fabricantes de termopares estão sujeitas a correções. Amostras individuais de um termopar podem apresentar uma característica temperatura *versus* tensão termoelétrica bem diferente daquela extraída das tabelas do fabricante. A norma DIN 43710, por exemplo, limita o erro dos termopares NiCr-Ni e Fe-Constantã na faixa de temperatura entre 0°C e 400°C a  $\pm 3$  K. Nas situações onde tais incertezas não podem ser toleradas, deve-se proceder a uma calibração individual dos termopares que, dependendo do caso específico, pode situar-se em um dos seguintes níveis:  $\pm 1,0$  K,  $\pm 0,1$  K e  $\pm 0,01$  K.

Os métodos de aferição de transdutores de temperatura se dividem basicamente em dois grandes grupos: aferição por comparação com pontos de temperatura fixos conhecidos (ponto de fusão de alguma substância, por exemplo) e aferição por comparação com padrões secundários. Os métodos do primeiro grupo limitam a aferição a apenas alguns pontos, o que devido à não linearidade da função temperatura versus tensão termoelétrica pode provocar erros graves. A aferição por comparação com padrões secundários usa como padrão termômetros de vidro, termômetros resistivos e termopares. Nestes casos, a aferição pode ser efetuada em diversos pontos e numa faixa de temperatura que pode, inclusive, incluir a região onde a não linearidade da função temperatura versus tensão termoelétrica é mais acentuada. Existem dois tipos de sistemas que utilizam esse segundo método: um primeiro que usa termômetro de

vidro e um segundo que utiliza termopares ou termômetros resistivos. Os sistemas que utilizam termômetros de vidro como padrão apresentam o inconveniente de não poderem ser totalmente automatizados, uma vez que pelo menos as leituras das temperaturas fixadas devem ser feitas por um operador. Isto torna o processo de aferição uma tarefa que, além de demandar muito tempo para ser efetivada, é muito susceptível a erros acidentais. Por outro lado, os sistemas que utilizam termopares como padrão secundário podem ser totalmente automáticos, uma vez que a saída destes transdutores é um sinal elétrico que pode ser interpretado por um microcomputador.

Os sistemas de aferição podem ainda ser classificados quanto à temperatura mínima de aferição: aferição para temperaturas menores que a ambiente e aferição para temperaturas maiores que a temperatura ambiente. Na aferição para temperaturas menores que a ambiente, o recipiente que contém os termopares a serem aferidos deve ser resfriado. Já na aferição para temperaturas maiores que a ambiente, o recipiente (forno) que contém os termopares a serem aferidos deve ser aquecido.

O presente artigo descreve o projeto e a implementação de um aferidor de termopares controlado por microcomputador e caracterizado por:

1. Possibilitar aferição simultânea de um número arbitrário de termopares de um mesmo tipo;
2. Admitir a aferição numa faixa de temperatura qualquer, desde que se inicie na temperatura ambiente do local da aferição;
3. Não apresentar limitações quanto ao número de pontos tomados na aferição;
4. Apresentar o resultado da aferição não só através da tabela de correção, mas também através de um polinômio.

## 2. DESCRIÇÃO DO HARDWARE

A Fig. (1) mostra o diagrama básico do circuito aferidor de termopares (uma descrição detalhada do hardware pode ser encontrada em Sales, 1998). O circuito de controle de potência é a interface responsável pela variação da temperatura do forno, a partir de uma tensão de referência enviada pelo microcomputador. O sistema de aquisição de dados é responsável pela geração dos sinais de controle, pelo condicionamento das tensões geradas pelos termopares e pela conversão desses sinais, os quais serão armazenados na memória. A interface paralela é a responsável pela comunicação do sistema de aquisição de dados com o microcomputador.

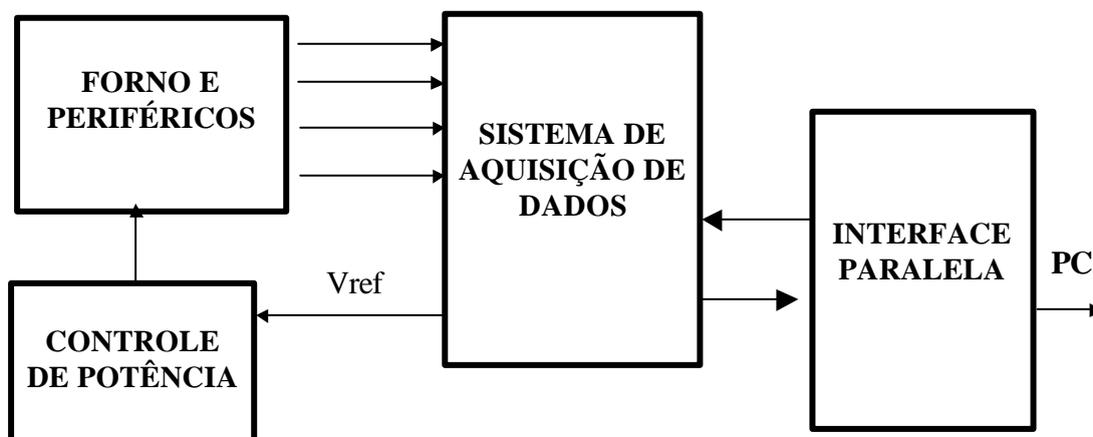


Figura 1. Diagrama básico do aferidor de termopares

**Forno e Periféricos.** O forno é constituído por um tubo de cerâmica e fios de NiCr-Ni enrolados em forma de espiral na superfície externa. O núcleo do cilindro é parcialmente preenchido por um cilindro

metálico maciço com orifícios dispostos transversalmente. Esses orifícios dispostos em isotermas têm como função abrigar os termopares.

A temperatura de referência (aproximadamente 0 °C) é conseguida através de uma mistura de gelo picado e água em um recipiente de isopor. A junção de referência do termopar é colocada dentro de um tubo de ensaio com óleo centrado na tampa do recipiente.

**Controle de Potência.** O forno elétrico de 1KW é alimentado pela tensão elétrica da rede de 220 VAC, 60 Hz. A forma de onda desta tensão e, conseqüentemente, a potência fornecida é controlada por meio de um *TRIAC*. O microcomputador fornece o sinal de controle que gera um pulso de corrente. Este pulso é aplicado ao terminal *GATE* do *TRIAC*, fazendo-o conduzir. A potência entregue ao forno é proporcional ao tempo em que o *TRIAC* passa conduzindo. Como existe uma tensão mínima que deve ser aplicada aos terminais do *TRIAC* para que este conduza, toda vez que o sinal alternado passar por zero ele será cortado. Para que volte a conduzir, deverá receber outro pulso de corrente em seu *GATE*. O sistema de controle de potência controla o instante no qual o *TRIAC* é disparado dentro do intervalo de meio ciclo de tensão de alimentação. Para realizar esse controle, o circuito funciona sincronizado com a tensão elétrica da rede. A Fig. (2) mostra o diagrama em blocos do sistema de controle de potência do forno e a Tab. (1) a descrição funcional de cada bloco.

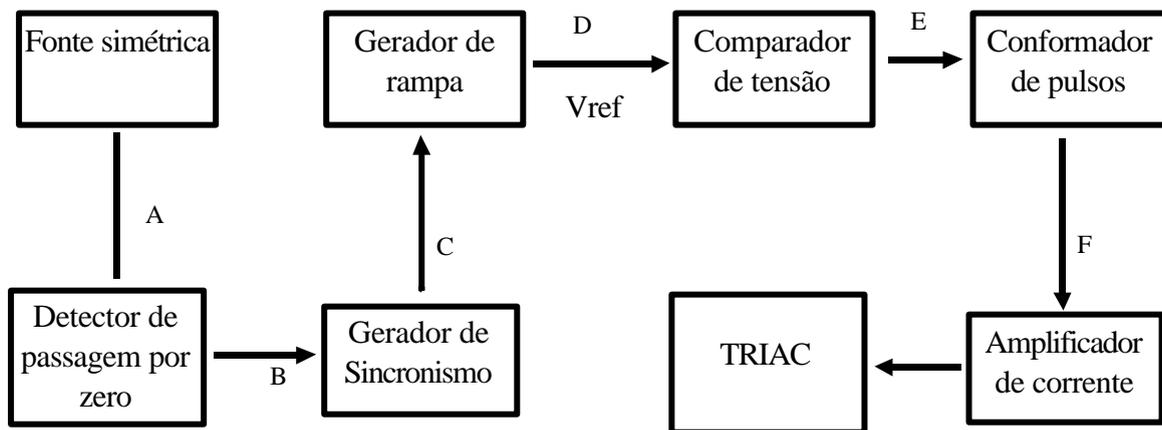


Figura 2. Diagrama de blocos do controlador de potência do forno

Tabela 1. Descrição funcional dos blocos do controlador de potência do forno

| Bloco                         | Descrição   |
|-------------------------------|---|
| Detector de passagem por zero | Gera um sinal que sincroniza o sistema com a tensão da rede que alimenta o forno.   |
| Gerador de Sincronismo        | Produz um impulso a cada mudança de polaridade da tensão da rede.                   |
| Gerador de Rampa              | Gera uma forma de onda em forma de rampa sincronizada com a tensão da rede.         |
| Comparador de Tensão          | Compara as tensões de saída do gerador de rampa com a de referência vinda do micro. |
| Conformador de Pulso          | Gera os pulsos que vão disparar o TRIAC, a partir do sinal de saída do comparador.  |
| Amplificador de Corrente      | Prepara o nível de corrente do sinal para disparar o TRIAC.                         |

**Sistema de aquisição de dados.** Este sistema tem a função de, sob o controle do microcomputador, realizar a aquisição das tensões geradas pelos termopares e controlar a temperatura do forno. Ele é constituído pelos seguintes blocos: gerador da tensão de referência, conformador de sinal, multiplexador, conversor analógico-digital, conversor paralelo-serial e interface com o microcomputador.

Como as tensões geradas pelos termopares instalados no forno elétrico são da ordem de algumas unidades de mV, é necessário o uso de elementos conformadores para levarem os sinais a um nível conveniente que permita a sua leitura, conversão e armazenamento na memória do micro. Estes elementos conformadores são amplificadores lineares, montados em configuração diferencial. Nesse projeto, usou-se o AD524, por apresentar alta linearidade, alto fator de rejeição de modo comum, baixa tensão de *offset* e baixo ruído.

Como a temperatura máxima a ser aferida é de 303°C (tensão termoelétrica de 15,015 mV, termopar Cu-Constantã), tem-se que o ganho do amplificador deverá ser da ordem de 666 (10 V / 15,015 mV). Por opção de projeto, preferiu-se dividir este ganho em duas partes. Uma primeira parte correspondente a um ganho de 100 nos amplificadores de instrumentação e o restante 6,66 no amplificador na saída do multiplexador. Deste modo, pode-se reajustar o ganho de fundo de escala a qualquer tipo de termopar e a outras faixas de temperatura.

Como a taxa de variação no tempo da temperatura do forno é pequena, não há necessidade de se construir um sistema que colete estes dados simultaneamente. Neste caso, as medições podem ser realizadas sucessivamente. O módulo **multiplexador analógico** destina-se, portanto, a multiplexar os sinais dos termopares de forma que a conversão analógico/digital possa ser feita utilizando-se um único conversor A/D. Para realizar esta tarefa foi utilizado o circuito CD4067, um multiplexador composto de 16 chaves analógicas, controladas digitalmente. A multiplexação é controlada por quatro sinais digitais nas entradas A0-A3. Estes sinais são originários da porta A da interface paralela 8255. O sinal de saída do multiplexador é novamente amplificado por um fator igual a 6,66.

O módulo **Conversão analógico/digital** destina-se à conversão analógico/digital da tensão termoelétrica do termopar selecionado. O processo de conversão consiste nas seguintes etapas: ativar o sinal para início de conversão (READ/CONVERT =0), desativar o sinal para início de conversão e espera do tempo de conversão.

Realizada a conversão, o sinal digital que aparece nos pinos de saída do conversor deve ser enviado para a memória do micro. Isto é feito de forma serial, através de um conversor paralelo/serial que serializa os 12 *bits* obtidos do processo de conversão e então os transmite ao micro, através da interface 8255. O conversor utilizado foi o ADC574.

A forma serial para a transmissão foi escolhida de maneira a minimizar os custos dos cabos de ligação entre o microcomputador e o sistema de aquisição de dados, uma vez que o último deve ficar o mais próximo possível dos termopares e o microcomputador em local adequado. Para realizar o processo de transmissão serial foram utilizados registradores de deslocamento com carga paralela de dados (74LS165). Assim, os 12 *bits* obtidos do conversor são carregados em 2 registradores de deslocamento, sendo que um deles carrega 8 *bits* e o outro apenas 4. A saída serial do registrador carregado com os quatro *bits* menos significativos é ligada à entrada serial do outro registrador. Em seguida, é lido o *bit* mais significativo e os demais *bits* são lidos após o envio de um sinal de *clock* aos registradores de deslocamento. O carregamento do sinal é feito quando o pino *LOAD/SHIFT* está em nível alto. Para que cada *bit* seja lido (apareça no pino de saída), é necessário que haja o deslocamento dos *bits* uma posição para a direita. Isto ocorre se, ao chegar o sinal de *clock*, o pino *LOAD/SHIFT* estiver no nível baixo. Os sinais de controle que chegam a cada um desses pinos vêm da porta C da interface paralela 8255.

O circuito integrado usado na de interface paralela foi o modelo 8255, originalmente desenvolvido pela Intel. Apesar da existência de outros padrões industriais compatíveis com famílias específicas de microcomputadores (exemplo da Zilog, NEC, Motorola), este modelo foi adotado pelo fato de ser

compatível com o padrão TTL. Este integrado apresenta 24 pinos de entrada e saída (I/O) divididos em 2 grupos de 8 *bits* e dois grupos de 4 *bits*.

**Calibração do circuito.** Três integrados necessitam de calibração: o conversor AD574, o amplificador de entrada AD524 e o amplificador de saída do multiplexador. A calibração destes CI's é crítica e dela depende a precisão das medições.

O conversor apresenta um erro de linearidade de  $\pm 1/2$  LSB. Isto significa que a primeira transição irá ocorrer para um nível de entrada igual a  $+ 1/2$  LSB ( 1,22 mV para uma tensão de fundo de escala igual a 10V). O código de fundo de escala irá se formar para uma tensão de entrada igual a  $1/2$  LSB abaixo da tensão de fundo de escala nominal (9,9963 para uma tensão de 10V). Um potenciômetro ajustado de modo que a última transição (1111111110 para 1111111111) ocorra para a tensão mencionada.

O amplificador AD524 apresenta duas fontes de erro: *offset* de entrada e *offset* de saída. A tensão de *offset* de saída não depende do ganho do amplificador. Já a tensão de *offset* de entrada é proporcional ao ganho do amplificador e, portanto, seu ajuste assume uma importância bem maior do que o *offset* de saída. Um amplificador típico AD524 tem um *offset* de saída igual a 250  $\mu$ V e um *offset* de entrada igual a - 50  $\mu$ V. Para um ganho de 100, o erro total será de 4,75 mV. O *offset* de entrada é ajustado para o mais alto ganho programável (1000) e o *offset* de saída é ajustado para o ganho unitário.

O amplificador responsável pela amplificação final do sinal dos termopares é um amplificador operacional 741, cujo ajuste de *offset* é realizado através dos pinos 1 e 5 do CI.

**Calibração do protótipo.** O conversor A/D foi calibrado com um sinal analógico aplicado diretamente ao pino 13 (*ANALOG INPUT*). Para esta calibração foi desenvolvido o programa conversor que mostra na tela o número binário lido na saída do conversor e a correspondente tensão analógica de entrada. O operacional 741 teve o seu ganho ajustado em 6,66. No ajuste de *offset* do amplificador AD524 foi utilizado apenas o ajuste do *offset* de entrada, sendo cada canal ajustado para que a tensão de saída fosse exatamente 100 vezes a tensão de entrada. Em seguida, aplicou-se a cada canal o sinal de um mesmo termopar, submetido a uma temperatura constante. Utilizando-se um multímetro, cuja escala de mV apresentava duas casas decimais e o programa conversor, pode-se observar que pequenas variações (centésimos de mV) ocorriam de um canal para outro e do valor mostrado no multímetro para o valor mostrado na tela. Ajustou-se novamente cada canal até que a tensão de cada termopar mostrada na tela do microcomputador fosse a mesma indicada pelo multímetro, para todos os canais, com uma precisão de duas casas decimais.

### 3. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

O *software* dedicado do aferidor foi implementado em *Delphi* e é constituído de quatro **formulários**, cada um deles associado a uma *unit*.

**Formulário Formmenu.** Este formulário ou janela é a área de trabalho do programa. Nele são inseridos os dados de aferição do programa. A temperatura e a potência cedidas ao forno, as tensões geradas pelos termopares e as temperaturas escolhidas como *setpoint* são visualizadas neste formulário. Associada a ele tem-se a *unit* menu, que contém as rotinas de aquisição de dados, controle de potência do forno e cálculo dos coeficientes do polinômio do termopar aferido.

**Formulário Fmostra.** É o formulário que contém o menu para geração da tabela de correção do termopar. A *unit* associada a este formulário (mostra) contém as rotinas de entrada de dados e chamada das *procedures* de geração de tabelas, contidas na *unit* gráfico.

**Formulário Fgrafico.** É o formulário onde são visualizadas as tabelas de aferição e correção. O relatório de aferição é gerado a partir da impressão deste formulário. A *unit* a ele associado (gráfico) contém as rotinas de geração das tabelas acima mencionadas.

**Formulário Formtela.** É a tela de apresentação do programa. A *unit* associada a este formulário (tela), desativa sua apresentação depois de dois segundos e abre o formulário principal da aplicação.

De acordo com os dados de entrada, o programa calcula as temperaturas de aferição, que receberão a denominação de *setpoint*. A cada segundo, o programa lê a temperatura do forno, utilizando-se para isto do termopar de referência, que por sua vez está ligado ao canal zero do circuito. Quando a temperatura for igual ao *setpoint* atual, com um desvio percentual menor ou igual à aproximação escolhida pelo usuário, o programa armazena esta temperatura e a correspondente tensão dos termopares (exceto o termopar de referência). Para cada termopar são feitas vinte leituras, sendo retirada a média aritmética destas leituras. Em seguida, é retirada a média das médias de cada termopar. Esta tensão é armazenada juntamente com a temperatura. Ao fim da aferição é criado um arquivo, que é gravado no diretório C:\SAT do disco rígido, ficando à disposição para uma posterior utilização na geração de tabelas de correção. O programa também possibilita ao usuário ver um gráfico de dispersão que utilize como dados as temperaturas e tensões armazenadas durante a aferição. A temperatura do forno pode ser apresentada, opcionalmente, através de um painel no centro da tela, que pode ser visto mesmo por quem esteja a uma distância de alguns metros do microcomputador. O programa mostra também, durante a aferição, as três últimas tensões e temperaturas armazenadas.

#### 4. ANÁLISE DE ERROS

As possíveis causas de erro nas aferições efetuadas são:

- Instabilidade do circuito, o que fará com que os resultados não se reproduzam, em diferentes aferições do mesmo termopar, embora sejam mantidas as mesmas condições de aferição;
- Erro no posicionamento dos termopares dentro do bloco metálico;
- Erros no cálculo dos polinômios de calibração;
- Erro na conversão analógico- digital;
- Erro do padrão secundário de temperatura.

A seguir, cada um desses itens será analisado.

**Erro de Reprodutividade ( $E_{RE}$ ).** Analisando-se a Tab. (2), verifica-se que nas três aferições as temperaturas armazenadas estão dentro da faixa definida pela aproximação de  $\pm 0,1\%$ . A reprodutividade do circuito é determinada comparando-se as tensões medidas em sucessivas aferições para as mesmas temperaturas. A maior diferença encontrada entre as correspondentes temperaturas armazenadas foi de 0,0044K. Considerando-se que uma variação de 1K corresponde, aproximadamente, para um termopar de NiCr-Ni, a uma variação de 0,04 mV, esta variação tão pequena de temperatura deveria gerar uma variação de tensão máxima em torno de 0,0002 mV, para temperaturas correspondentes, se a reprodutividade fosse perfeita.

Da Tab. (2), verifica-se que a maior variação de tensão foi de 0,0026 mV. Esta variação de tensão deveria ocorrer para uma variação de temperatura aproximada de 0,065K, considerando-se um termopar típico. Assim, o erro referente à reprodutividade do circuito ( $E_{RE}$ ) é igual a 0,065K.

**Erro no posicionamento dos termopares dentro do bloco metálico ( $E_{TE}$ )**. Os termopares são inseridos nos orifícios do bloco metálico. O erro no posicionamento do termopar se refere ao deslocamento em relação ao centro do orifício. Para se determinar a variação de temperatura dentro do orifício, calcula-se o fluxo de calor através da área compreendida entre duas isotermas de raio  $R_1$  e  $R_2$ , tangentes aos pontos central e superior, respectivamente, de um orifício de diâmetro  $D$ . Toma-se o fluxo  $q$  igual à potência do forno, ou seja 1kW. O raio do bloco metálico é igual a 37,5mm, o seu comprimento, 100mm e o diâmetro do orifício é igual a 1mm, a condutividade térmica  $K$  é igual a 221 W/mK, obtendo-se  $E_{TE} = 0,1K$ .

**Erro na conversão analógico-digital ( $E_{AD}$ )**. O erro de linearidade do conversor utilizado é de  $\frac{1}{2}$  LSB. A fórmula que relaciona a tensão analógica de entrada com o código digital de saída em um conversor de 12 bits é dada por:  $(V_{ref} \cdot N)/4096$ , onde  $V_{ent}$  é a tensão analógica de entrada,  $N$  é o código binário de saída e  $V_{ref}$  é a tensão analógica de referência, que deve ser, idealmente, a tensão de entrada que produza o código de fundo de escala. Para  $V_{ref} = 10V$ , a  $V_{ent}$  que produz o código 1 LSB, ou seja, o número binário 1, é igual a 2,4414 mV. Logo, uma variação de  $\frac{1}{2}$  LSB na saída do conversor equivale a um erro de 1,2207 mV na leitura da tensão analógica de entrada. Como a tensão de entrada do conversor é a tensão no termopar amplificada 666 vezes, em conseqüência, o erro na leitura da tensão será igual a  $1,2207/666 V$ . Um termopar típico apresenta uma inclinação máxima da curva de aferição igual a 25,74 °C/mV. Desse modo, o erro máximo devido à não linearidade do conversor será 0,04718 K.

**Erro no cálculo do polinômio de calibração ( $E_{PO}$ )**. Os erros produzidos no cálculo dos coeficientes do polinômio de calibração são de dois tipos: erros produzidos por aproximações e erros produzidos pela impossibilidade de se fazer um ajuste de curvas perfeito. A curva produzida pelo polinômio de calibração é a que mais se aproxima da curva real, produzida pelos valores medidos. Se a curva real fosse exatamente linear, o erro encontrado no ajuste de curvas seria zero. Como isto não acontece, existe um erro inerente ao processo, dado pela Eq. (1)

$$E_{PO} = [t_i'(v_i) - t_i(v_i)] \quad (1)$$

onde  $t_i'$  são temperaturas calculadas através do polinômio de calibração e  $t_i$  são temperaturas medidas durante a aferição. Para um termopar de NiCr-Ni, com temperaturas variando de 30° C a 130° C, este erro foi igual a 0,016 K.

**Erro do padrão secundário de temperatura ( $E_{PS}$ )**. O padrão secundário de temperatura é um termopar de NiCr-Ni cujos coeficientes conhecidos são utilizados para calcular a temperatura do forno durante o processo de aferição. Neste caso, o erro estimado foi de 0,4K.

**Erro total do sistema aferidor**. O erro total é dado pela soma de todos os erros encontrados:  
 $Erro\ total = E_{RE} + E_{TE} + E_{AD} + E_{PO} + E_{PS} = 0,63K$

## 5. RESULTADOS

A Tab. (2) mostra os dados das três aferições realizadas com um mesmo termopar de NiCr-Ni no intervalo de 30 a 130 °C, com um passo aproximado de  $10 K \pm 0,1K$ , ou seja, faixa de temperatura compreendida entre *setpoint* - 0,1% do *setpoint* e *setpoint* + 0,1% do *setpoint*.

Já a Tab. (3) mostra os coeficientes do polinômio do terceiro grau “temperatura versus tensão” (coeficientes A) e “tensão versus temperatura” (coeficientes B) do termopar obtidos a partir dos valores

presentes nas tabelas da Tab. (2). Como pode ser visto, há uma boa taxa de reprodutibilidade nas medições.

Tabela 2. Dados de três aferições de um termopar NiCr-Ni

| Tabela de aferição |        | Tabela de aferição |        | Tabela de aferição |        |
|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| temperatura        | tensão | temperatura        | tensão | temperatura        | tensão |
| 30.0097            | 1.2016 | 30.0187            | 1.1994 | 29.9917            | 1.1996 |
| 39.9653            | 1.6076 | 39.9788            | 1.6052 | 39.9966            | 1.6056 |
| 49.9548            | 2.0176 | 49.9903            | 2.0202 | 49.9637            | 2.0186 |
| 59.9546            | 2.4315 | 59.9414            | 2.4321 | 59.9635            | 2.4319 |
| 69.9386            | 2.8459 | 69.9342            | 2.8435 | 69.9386            | 2.8461 |
| 79.9606            | 3.2609 | 79.9429            | 3.2600 | 79.9209            | 3.2600 |
| 89.9158            | 3.6748 | 89.9335            | 3.6748 | 89.9468            | 3.6755 |
| 99.9291            | 4.0901 | 99.9380            | 4.0908 | 99.9069            | 4.0892 |
| 109.9171           | 4.5012 | 109.9037           | 4.5018 | 109.9349           | 4.5016 |
| 119.9107           | 4.9118 | 119.8883           | 4.9112 | 119.8838           | 4.9101 |
| 129.8819           | 5.3167 | 129.8774           | 5.3172 | 129.8909           | 5.3183 |

Tabela 3. Coeficientes do polinômio de um termopar de NiCr-Ni, obtidos em três aferições

| Coeficientes dos polinômios |              | Coeficientes dos polinômios |              | Coeficientes dos polinômios |              |
|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| A0                          | -0.527042155 | A0                          | -0.242601534 | A0                          | -0.223110710 |
| A1                          | 25.580869501 | A1                          | 25.375321122 | A1                          | 25.347774842 |
| A2                          | -0.446336760 | A2                          | -0.390655175 | A2                          | -0.380505934 |
| A3                          | 0.046653941  | A3                          | 0.041404492  | A3                          | 0.040391599  |
| B0                          | 0.005088396  | B0                          | -0.004569373 | B0                          | -0.005049765 |
| B1                          | 0.039062979  | B1                          | 0.039395080  | B1                          | 0.039441263  |
| B2                          | 0.000031609  | B2                          | 0.000027774  | B2                          | 0.000027044  |
| B3                          | -0.000000135 | B3                          | -0.000000120 | B3                          | -0.000000117 |

## 6. CONCLUSÕES

O circuito aferidor de termopar possibilita aferições totalmente automáticas, com um tempo de aferição muito menor do que o necessário para aferições manuais, dispensando inclusive a intervenção de um operador durante o processo de aferição. Além disso, o sistema permite que sejam geradas tabelas de correção e coeficientes do polinômio de calibração do termopar, sem a intervenção do operador. Relatórios são impressos tão logo se termine a aferição, ou quando assim for solicitado.

O *software* de aferição é bastante amigável, não oferecendo dificuldades em sua utilização. As variáveis de aferição, tais como temperatura, potência do forno e tensão do termopar, são mostradas na tela, permitindo que o operador acompanhe todo o andamento do processo. O microcomputador no qual testou-se o sistema, foi um 486SX com 8MB de memória RAM. Os testes efetuados mostraram que o sistema tem um desempenho bastante satisfatório, possibilitando aferições com um erro menor que 0,63K. Este erro se deve em grande parte à incerteza, relativamente grande, dos coeficientes do termopar de

referência (0,4K). Utilizando-se um termopar de referência de melhor qualidade, pode-se reduzir consideravelmente o erro do sistema.

Utilizando-se um bloco metálico de cobre no lugar do bloco de alumínio, pode-se reduzir o erro de posicionamento do termopar de 0,1K para 0,054K.

Como aperfeiçoamento no sistema, pode-se desenvolver um controle de potência do forno que não seja sincronizado com a rede, alterando-se diretamente a amplitude da tensão AC aplicada ao forno. Isto permitiria que o circuito de controle fosse dispensado e o controle de potência realizado por *software*, através da interface paralela. Isto não é possível com um controle de potência sincronizado pela rede, pois no caso de baixas potências, o *software* teria de gerar um *delay* antes do pulso de disparo, que duraria grande parte de um semiciclo, ficando impossibilitado, durante este tempo, de adquirir sinais dos termopares. Com o controle de potência sugerido, o *software*, através do conversor D/A e da interface paralela, aplicaria diferentes valores de tensão ao circuito de controle, alterando, assim, a potência do forno.

## 7. REFERÊNCIAS

Sales, Z.L., 1998, “Projeto e implementação de um sistema de aferição de termopares controlado por microcomputador”, Dissertação de Mestrado aprovada no Departamento de Eletrônica e Sistemas da UFPE, pp.99.

## EQUIPMENT FOR CALIBRATION OF THERMOCOUPLES AND OTHER TEMPERATURE TRANSDUCERS

### João Pereira de Brito Filho

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Eletrônica e Sistemas – Av. Acadêmico Hélio Ramos, SN – Cidade Universitária - 50670-901 – Recife – PE – Brasil - [jbrito@npd.ufpe.br](mailto:jbrito@npd.ufpe.br)

### Zílcio de Lavor Sales

Universidade de Pernambuco - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Elétrica – Rua Benfica, 445 – Madalena –50 750-410 – Recife – PE - Brasil

*Abstract. Thermocouples are widely used for industrial temperature measurements, due to the enormous advantages of this kind of transducer. However, the information given by the manufacturer about temperature as a function of thermoelectric voltage refers only to average data. Therefore, it is always necessary to obtain a correction table for the considered thermocouple, if the error indicated by the manufacturer could not be accepted. The present work describes the prototype of a thermocouple **calibration** system, controlled by a personal computer. This system can also be utilized to calibrate another kind of thermal transducer.*

*Key words: thermocouple, calibration.*