

DETR.PD-072/79

NUCLEBRÁS/CDTN	NOTA TÉCNICA	DETR.PD 131/80	PG.1 / 14
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES			DATA 18/09 /80
DIVISÃO DE TESTES/LABORATÓRIO DE TERMOHIDRÁULICA			

TITULO  
**DESENVOLVIMENTO DE UM TERMOELEMENTO DE TRÊS FIOS**

NOTAS CORRELATAS

OBJETIVO  
 Desenvolver um termoelemento de três fios com a finalidade de se medir transientes de temperaturas em paredes aquecidas eletricamente durante ocorrência de "burnout".

LISTA DE DISTRIBUIÇÃO

SUPED \* (1)  
 ASPC.PD \* (1)  
 DETR.PD (2)  
 AUTOR (1)  
 SEDOTE.PD (1)  
 LABTEH.PD (3)  
 DITES.PD (1)

RESUMO E CONCLUSÕES

Para melhorar a segurança em testes de fluxo crítico é necessária a determinação rápida de temperatura de parede. Como os termopares disponíveis no mercado não respondem satisfatoriamente aos requisitos necessários, foi então desenvolvido o termoelemento de três fios que preenche estes requisitos.

Durante o desenvolvimento do termoelemento de 3 fios foram realizados vários testes que comprovaram a eficiência do mesmo, indicando-o para uso em testes de fluxo crítico, com uma maior margem de segurança que os termopares convencionais.

\* Apenas folha de rosto

ÍNDICE

1. Introdução	2/14
2. Análise Teórica	2/14
3. Esquemas e Montagens	4/14
4. Realização dos Testes e Resultados	5/14
5. Conclusões	7/14
Referências	8/14
Figuras	9/14



mab  
 Nº. CÓPIAS 10

AUTOR (ES)	VISTO	DATA	APROVAÇÃO	VISTO	DATA
Arone, I.D.	<i>[Signature]</i>	10/11/80	CHEFE DO LAB. OU GRUPO	<i>[Signature]</i>	11/11/80
			CHEFE DA DIVISÃO	<i>[Signature]</i>	03/12/80

CLASSIFICAÇÃO

TAREFA:  
 11.18

## DESENVOLVIMENTO DE UM TERMOELEMENTO DE TRÊS FIOS

## 1. INTRODUÇÃO

Ao se realizar experimentos visando a obtenção de fluxo crítico de calor em seções de testes refrigeradas à água, a determinação da temperatura de parede com rapidez é de grande importância, uma vez que é a partir da observação desta, que a destruição da seção de testes é evitada.

Os problemas encontrados na realização dessas medidas são:

1) A resposta do termopar deve ser bastante rápida, ou seja, o sensor deve ter uma constante de tempo a mais baixa possível. Isso impede que termopares com isolamento mineral sejam utilizados, uma vez que eles possuem, devido à isolamento, um tempo de resposta muito grande.

2) Devido às seções de testes serem aquecidas eletricamente, por efeito Joule, não é possível a simples instalação de um termoelemento nú, uma vez que a diferença de potencial (ddp) obtida seria uma soma algébrica de componentes devido ao efeito termoelétrico e ao campo elétrico aplicado à seção de testes.

Para a solução destes problemas, desenvolveu-se o termoelemento de três fios, que tem um tempo de resposta adequado e não sofre a influência do campo elétrico na seção.

## 2. ANÁLISE TEÓRICA

A Figura 1 mostra o diagrama de um termoelemento de três fios, onde os dois fios exteriores são de Alumel e o interior é feito de Chromel. Os fios são separados em aproximadamente 0,5mm e soldados à parede, que é percorrida por uma corrente  $I$ . Entre os fios 1 e 2 existe uma resistência  $R_1$ , e entre os fios 2 e 3 existe

uma resistência  $R_2$ . Estas resistências,  $R_1$  e  $R_2$ , são percorridas pela corrente elétrica de aquecimento da seção de testes,  $I$ , produzindo uma tensão  $e_1 = R_1 \times I$  e  $e_2 = R_2 \times I$ , respectivamente. Se fossem utilizados somente os fios 1 e 2 para se obter medidas de temperatura, como se fosse um termopar convencional, a leitura da tensão no medidor seria:

$$V_{1,2} = eT - e_1 = eT - R_1 \times I;$$

Do mesmo modo, para o termopar formado pelos fios 2 e 3, teríamos:

$$V_{2,3} = eT + e_2 = eT + R_2 \times I;$$

onde  $V$  é a tensão lida no medidor e  $eT$  a tensão devido ao efeito termoelétrico, sendo portanto a que se deseja medir.

Na Figura 2a é mostrado um circuito equivalente ao termo elemento de 3 fios. Para se analisar o funcionamento do mesmo, pode-se utilizar o princípio de "superposição de efeitos" que permite o estudo do circuito, analisando-se primeiramente a influência de algumas fontes e posteriormente de outras, sendo o resultado final a soma dos efeitos parciais. Aplicando-se este princípio à Figura 2.a, obtém-se dois outros circuitos que são mostrados nas Figuras 2.b e 2.c.

Da Figura 2.b, observa-se que a tensão obtida no medidor,  $V_{m_b}$ , é independente da posição de contato com o potenciômetro e tem valor igual a  $eT$ , tensão devido ao efeito termoelétrico. Na Figura 2.c, observa-se que a tensão obtida no medidor,  $V_{m_c}$ , pode variar desde  $-e_1$  até  $+e_2$ , dependendo de posição do contato do potenciômetro. Para que a leitura do medidor da Figura 2.a, isto é,  $V_{m_a}$ , seja a tensão somente devido ao efeito termoelétrico, e sendo esta tensão o resultado de  $V_{m_b} + V_{m_c}$ , tem-se que  $V_{m_c}$  deve ser nula. Isto pode ser obtido calibrando-se o circuito, ou seja, variando-se o potenciômetro até o ponto desejado, sendo que esta variação, como visto anteriormente não afeta a medida de  $eT$ .

A calibração do circuito pode ser feita por 2 métodos:

. Aquecimento por corrente alternada senoidal e utilização de um osciloscópio. Tendo em mente que a tensão devido ao efeito termoelétrico é contínua, enquanto que a tensão gerada por efeito resistivo será senoidal, o que se faz é variar as resistências no potenciômetro até que apareça na tela do osciloscópio apenas uma linha reta, quando então o circuito pode ser considerado calibrado.

Como citado em [1], com o uso do osciloscópio e aquecimento com corrente alternada, pode-se também calibrar o circuito da seguinte forma: aplica-se a tensão dos terminais do medidor mostrado na Figura 1 às placas verticais do osciloscópio e a tensão do circuito de alimentação às placas horizontais. A inclinação da reta aparecendo na tela em relação ao eixo horizontal é uma medida de descalibração do circuito. O circuito é considerado calibrado se a linha reta for paralela ao eixo horizontal da tela.

. Desligamento e religamento abrupto da corrente contínua. Este método consiste em desligar abruptamente e religar logo em seguida o fornecimento de potência. Quando o circuito estiver desbalanceado, a agulha do medidor vai sofrer uma deflexão instantânea devido a mudança de tensão.

### 3. ESQUEMAS E MONTAGENS

Foram utilizadas basicamente duas montagens. Na primeira fez-se uso de alimentação por corrente alternada e na segunda por corrente contínua.

#### 3.1 Montagem com Corrente Alternada

A montagem utilizada, como mostrado na Figura 3, constou de: uma fonte de corrente alternada de 110V, alimentando um reostato divisor de tensão, dois suportes para resistência feitos de material isolante térmico e elétrico, uma resistência separada em duas partes, uma placa de alumínio e um termoelemento de três fios. Como medidores utilizou-se primeiramente um osciloscópio para tensão diferencial com sensibilidade de até  $1 \mu\text{V}/\text{div}$  e posteriormente um medidor de tensão potenciométrico.

Depois de calibrado, o termoelemento deveria ter seus dois terminais desconectados do osciloscópio e ligados a uma junta fria eletrônica de onde obter-se-ia então a tensão correspondente à temperatura de parede.

### 3.2 Montagem com Corrente Contínua

A montagem utilizada é mostrada na Figura 4 e constou de um retificador com chave liga-desliga e um tubo de aço onde estavam ligados os fios do termoelemento, um termoelemento de 3 fios e um banho de gelo. Como medidor, utilizou-se um registrador gráfico de 2 canais. Utilizou-se, também, um termopar simples para mostrar a influência da corrente neste tipo de sensor.

## 4. REALIZAÇÃO DOS TESTES E RESULTADOS

### 4.1 Utilização da Montagem com Corrente Alternada

O método de calibração usado nesta montagem foi através da observação da componente alternada senoidal na tela do osciloscópio. Ao se tentar calibrar o circuito, foi observado que o sinal do termoelemento estava sofrendo a influência de ondas (na faixa de radiofrequência) de rádio, uma vez que o sinal mostrado na tela estava modulado em amplitude. Isto foi resolvido através da utilização de um filtro de grande atenuação que foi ajustado para atuar em frequências acima de 300 Hz. Devido a radiofrequência ser muito elevada, com relação a este valor, ela foi toda eliminada. Com isto, o sinal mostrado passou a ser uma senóide com frequência de 60 Hz sobreposta a uma corrente contínua. Esperava-se então que, através da variação do potenciômetro, a partir de uma extremidade, a senóide desaparecesse num ponto qualquer, o que não aconteceu, tendo esta chegado a um mínimo, voltando a aumentar.

Concluiu-se que o termoelemento estava sofrendo indução da corrente de aquecimento, indução esta impossível de ser eliminada com o filtro. A solução desta dificuldade seria através de utilização de uma blindagem magnética a qual não se dispunha na ocasião. Abandonou-se então este processo e tentou-se a calibração através de uma montagem com corrente, contínua.

#### 4.2 Utilização da Montagem com Corrente Contínua

Com a montagem da Figura 4 foram realizados os experimentos onde obteve-se quatro regiões distintas de comparação, que são apresentadas nas Figuras 5a e 5b. O canal 2 corresponde ao registro do termoelemento de 3 fios e o canal 1 ao de um termopar nú.

##### Região 1

Região de calibração do circuito. Para se calibrar o circuito, desligou-se e ligou-se abruptamente o fornecimento de potência do circuito, e observou-se o comportamento do registrador. Como este sofreu uma deflexão, alterou-se o valor das resistências no potenciômetro afim de compensar o efeito resistivo, e assim foi feito diversas vezes até que, ao se desligar e ligar abruptamente a corrente, verificou-se que o registrador não mais sofria deflexões, considerando-se então o circuito como calibrado. Observando-se o comportamento do termopar nú convencional no canal 1, nota-se que ao se desligar e ligar a corrente, o efeito resistivo desaparece e ele passa instantaneamente a indicar o valor real da tensão referente à temperatura. Observa-se, entretanto, uma diferença entre os valores acusados pelos 2 canais depois de desligada a corrente de aquecimento. Isto se deve a um pequeno desbalanceamento detectado no canal 1 do registrador.

##### Região 2

Efeito da variação das resistências do potenciômetro na tensão indicada. Dá as leituras  $e_T - e_1$  e  $e_T + e_2$ , como explicado no capítulo 2, com uma boa apresentação da faixa de variação da tensão do circuito, que apesar da baixa corrente mostra quão grande pode ser o erro de um termopar nú na medição de temperatura de superfícies aquecidas eletricamente.

Para os pontos A, B e C da Figura 5b foram feitas medidas de  $e_T + e_2$ ,  $e_T - e_1$  e  $e_T$ , obtendo-se, respectivamente, os seguintes resultados:

$$V_A = 14,24 \text{ mV}$$

$$V_B = 9,40 \text{ mV}$$

$$V_C = 11,92 \text{ mV}$$

A estas tensões correspondem as temperaturas seguintes:

$$T_A = 349^{\circ}\text{C}$$

$$T_B = 231^{\circ}\text{C}$$

$$T_C = 293^{\circ}\text{C}$$

Com o termoelemento calibrado, obteve-se o valor real da temperatura da seção de testes correspondente ao valor central  $V_C$ , resultando em  $T_C = 293^{\circ}\text{C}$ .

### Região 3

Efeito do desligamento abrupto da corrente na medida em curso, primeiro com o potenciômetro à esquerda e depois com ele todo à direita (o seletor). O gráfico da Figura 5b, mostra que quando o potenciômetro está descalibrado, ao se desligar a corrente, o sensor passa a fornecer a tensão referente à temperatura de sua junta de medida.

### Região 4

Comportamento do termoelemento de 3 fios com condições normais, isto é, sem corrente de aquecimento. Observa-se que o termoelemento tem comportamento igual ao do termopar nú, nestas condições, isto é, ambos apresentam decaimento exponencial, sendo que a diferença no valor das medidas deve-se ao desajuste já descrito na calibração do registrador.

## 5. CONCLUSÕES

Foi montado um termoelemento de 3 fios e foi feita a sua calibração. Esse termoelemento é superior ao termopar com isolamento mineral no que se refere ao tempo de resposta em medidas de superfícies aquecidas eletricamente e superior ao termopar nú pois não sofre efeito da corrente de aquecimento. Devido a isto recomenda-se o seu uso nos testes de fluxo crítico no lugar dos termopares nús, normalmente utilizados.

## REFERENCIA

[ 1 ]

MAYINGER, R; SHAD, D.; WEISS; E. Investigation into the Critical Heat Flux in Boiling Water, Nurnberg, Euraton, 1967 (EUR 3347e).



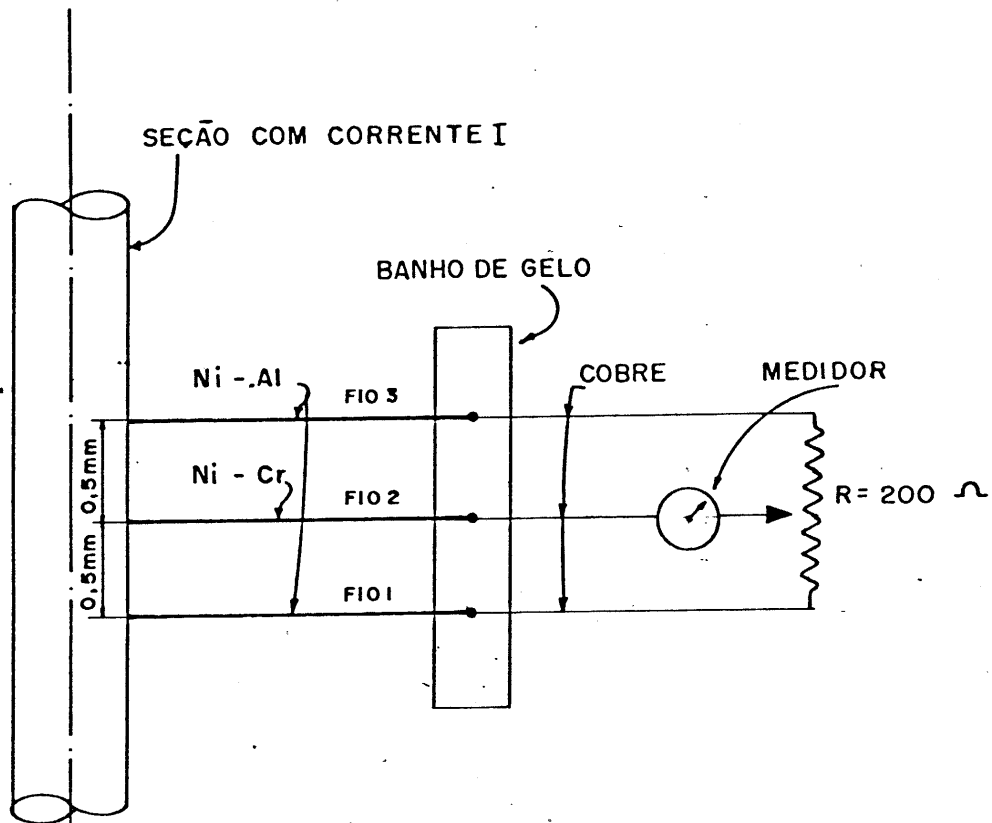
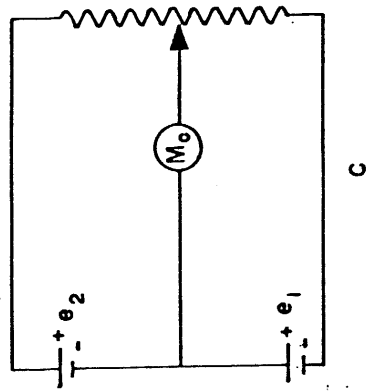
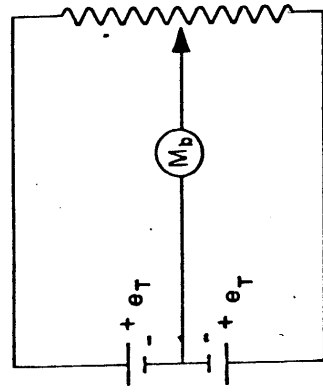


FIGURA - I

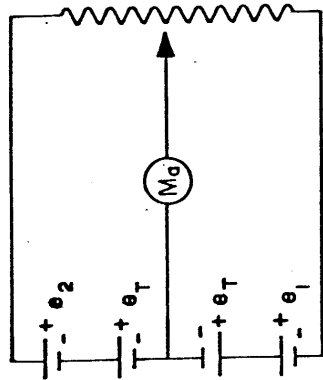
DIAGRAMA DO TERMOELEMENTO DE TRÊS FIOS



c



b



d

FIGURA - 2  
CIRCUITO EQUIVALENTE AO TERMOELEMENTO DE TRÊS FIOS

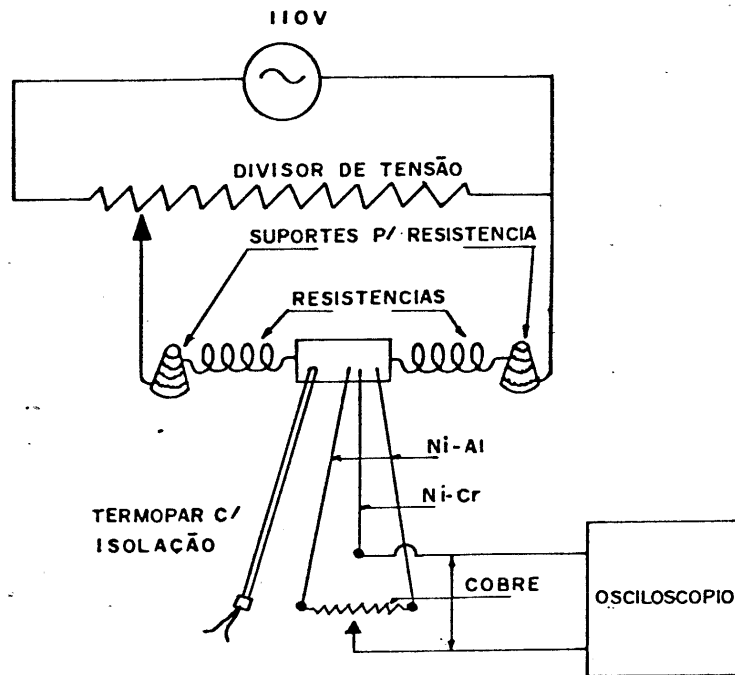


FIGURA - 3

MAQUETE PARA CORRENTE ALTERNADA

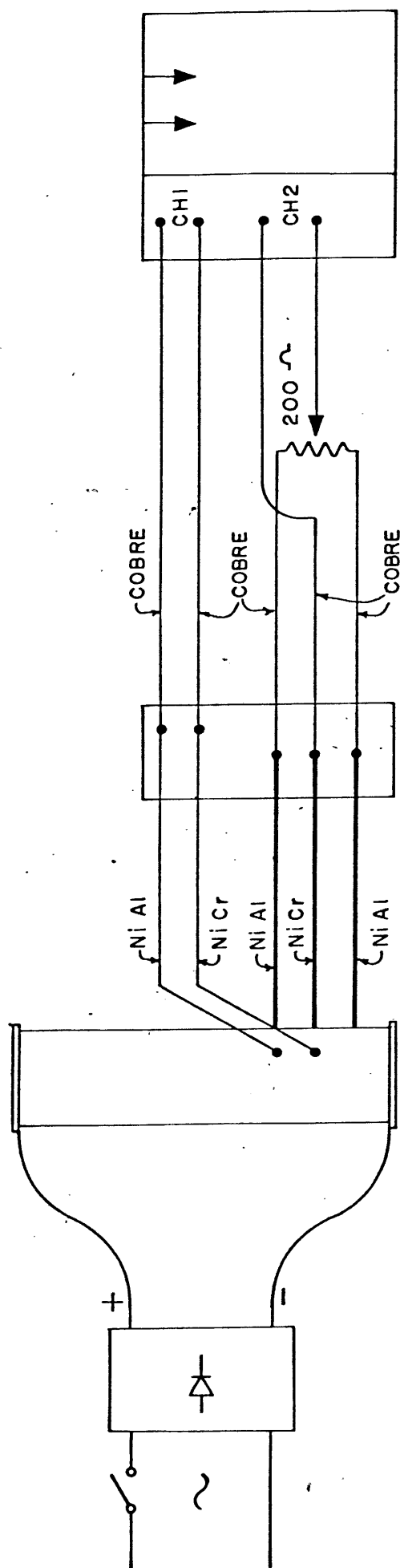


FIGURA - 4

MONTAGEM PARA CORRENTE CONTÍNUA

DETR. PD-073/79

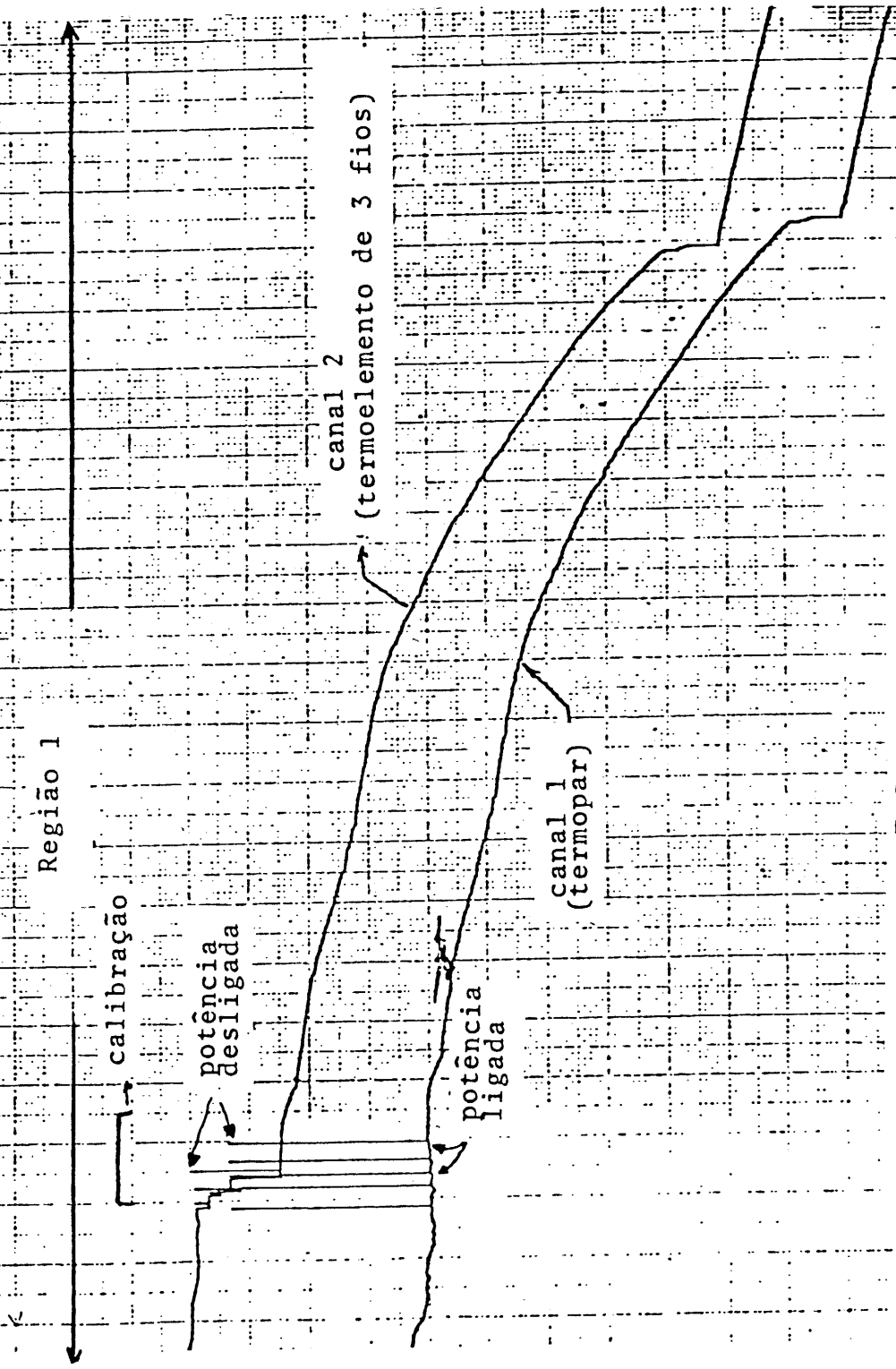


FIGURA 5.a  
COMPARAÇÃO ENTRE UM TERMOPAR E O TERMOELEMENTO DE 3 FIOS

DETR.PD-073/79

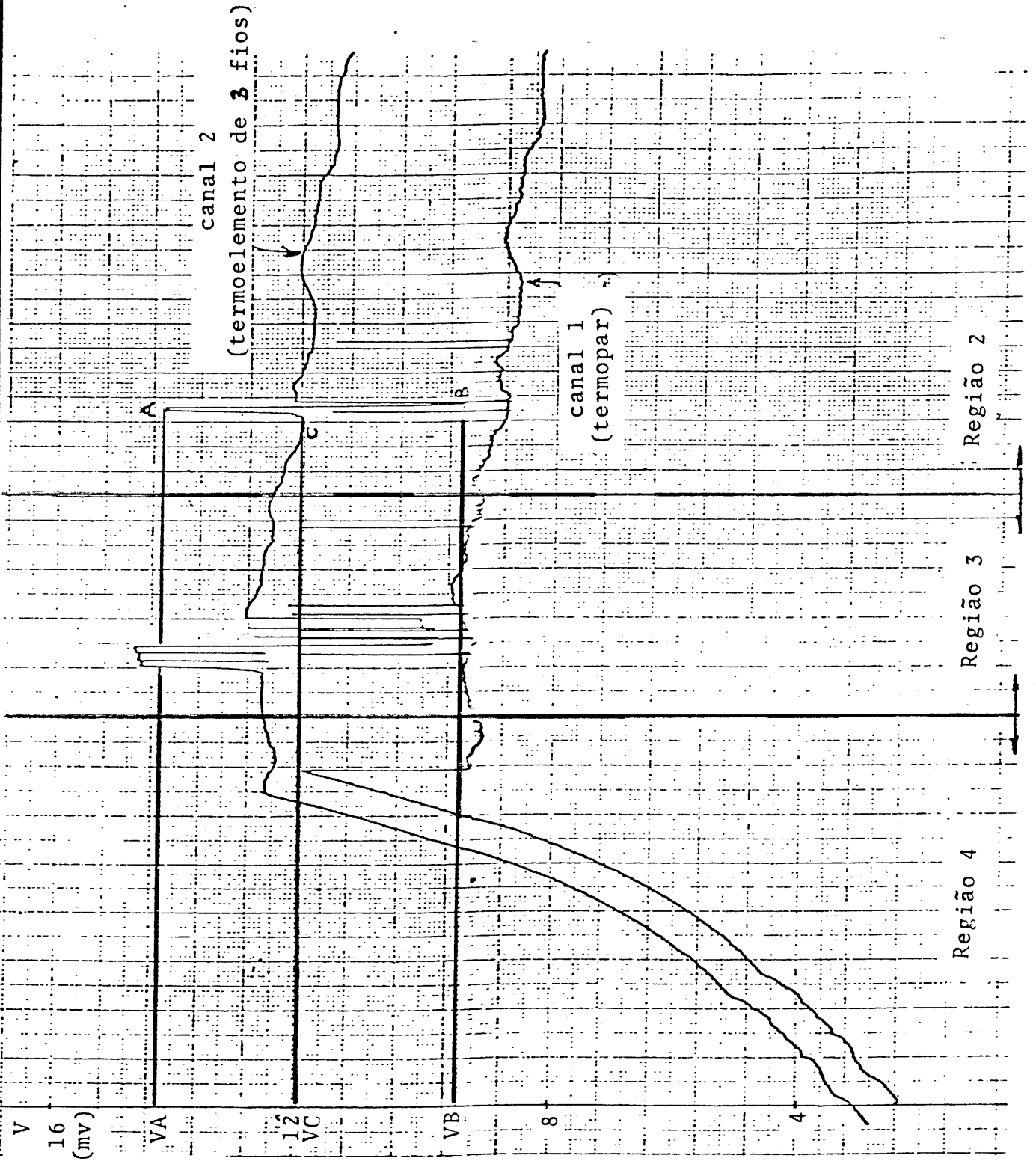


FIGURA 5.b  
 COMPARAÇÃO ENTRE UM TERMOVAR E O TERMOELEMENTO DE 3 FIOS