

EFEITO DA TEMPERATURA EM TERMOPIILHAS DE FILMES FINOS

João Francisco Escobedo\*  
 Gutemberg Pereira Dias\*\*  
 Sergio Carlos Zilio\*\*\*

\* Depto. de Física e Biofísica - UNESP/Botucatu/SP  
 \*\* Programa de Pós-Graduação - Energia na Agricultura  
 \*\*\* Instituto de Física e Química de São Carlos/USP

RESUMO

Termopilhas de filmes finos obtidas por evaporação de metais, tipo Full-Black contendo 30 termopares, e tipos preto/branco, estrela e disco concêntrico de 36 termopares foram elaboradas em substratos de acrílico, mylar e kapton 100 HN. As resistências elétricas medidas à 25°C foram de  $R_{acri} = 7.19 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{mylar} = 7,8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{kest} = 10.88 \text{ k}\Omega$  e  $R_{KDC} = 9.42 \text{ k}\Omega$ , respectivamente. As termopilhas foram instaladas em piranômetros e submetidas a variações de temperatura entre -10°C a 50°C. Os resultados mostraram que a variação de resistência em função da temperatura é linear tendo declividade positiva para a termopilha em acrílico e negativa para as termopilhas com substrato de kapton e mylar. No acrílico a resistência variou de 6.74 kΩ a 7.50 kΩ, no kapton de 11.22 kΩ a 10.66 kΩ para a termopilha estrela e de 9.95 kΩ a 9.05 kΩ para a termopilha disco-concêntrico, enquanto na mylar de 8.16 a 7.64 kΩ. Os coeficientes de temperatura (erro devido a variação de temperatura % / °C) calculados a partir dos coeficientes angulares das curvas experimentais e das resistências elétricas na temperatura ambiente (25°C) apresentaram os seguintes resultados: 0.09% / °C para a termopilha estrela em kapton; 0.13% / °C para a termopilha em mylar, 0,2% / °C para a termopilha disco-concêntrico em kapton 0.19% / °C para a termopilha com substrato de acrílico. Os resultados obtidos foram considerados bons comparados aos coeficientes de temperatura de termopilhas importadas que normalmente situam-se na faixa de 0.1% / °C a 0.25% / °C.

INTRODUÇÃO

O coeficiente de Temperatura ———, erro máximo devido a variação da temperatura ambiente (% / °C), é um dos parâmetros que mais afeta a performance dos sensores termoeletrônicos ou termopilhas, que atualmente, representa o elemento sensível mais completo utilizado dentro das aplicações radiométricas. /1.2./. A resistência elétrica do circuito de termopares depende da temperatura e nos radiômetros solares por operarem em condições de campo, este coeficiente é mais acentuado que em outros detectores, chegando produzir erros até

da ordem de 5% na medida da radiação. Algumas marcas comerciais como Eppley entre outras minimizam este efeito instalando circuito com pensadores de temperatura a base de termistores ou dispositivos similares em seus radiômetros.

Desde 1987 estamos trabalhando no desenvolvimento tecnológico da termopilha de filmes finos obtidos por evaporação de metais /3,4/, - bem como nas suas aplicações na radiometria solar. /5.6.7.8/. Alguns tipos de termopilhas preto/branco e Full-Black elaboradas por este processo mostraram características funcionais de responsividade e constante de tempo similares ou superiores as termopilhas importadas obtidas por outras técnicas de construção.

Os radiômetros tais como piranômetro, piréliômetro, radiômetro líquido, radiômetro a quático entre muitos outros, já testados em condições de campo, apresentaram funcionalidade semelhante aos radiômetros solares que a Organização Mundial de Meteorologia classificam como de secundários e apropriados para operarem rotineiramente em estações meteorológicas, com erro inferior a 2% na medição da radiação.

Em vista dos resultados já obtidos com as termopilhas de filmes finos e considerado a necessidade de se conhecer o comportamento deste transdutor em função da temperatura, objetivou-se neste trabalho determinar o coeficiente de temperatura de várias termopilhas de filmes finos de positados em substratos de mylar, kapton e acrílico, que estão atualmente submetidas a testes de rotina na medida da radiação.

EXPERIMENTAL

Quatro termopilhas foram submetidas nos testes experimentais de variações de temperatura.

Termopilha nº 1 - disco concêntrico contendo 36 termopares de bismuto/antimônio de positados em substrato de kapton 100 HN (espessura de 25µm).

As especificações do circuito dos termopares são: espessura do filme metálico 3000 Å, resistência elétrica de 9.43 kΩ a 25 °C, diâmetro 25 mm. A figura (1) mostra o esquema de termopares desta termopilha.

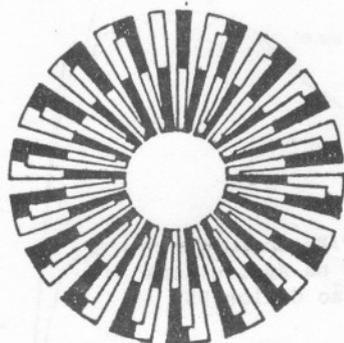


Figura 1 - Esquema do circuito de termopares da termopilha nº 1 disco-concêntrico.

Termopilha nºs 2 e 3 - estrela contendo 36 termopares de bismuto/antimônio depositados em substratos de kapton 100 HN e acrílico com espessura de 0,5 mm. As especificações dos circuitos são: espessura do filme metálico 3000 Å para ambos substratos e resistências elétricas a 25 °C de 10.36 kΩ para o substrato de kapton e 7.2 kΩ para o acrílico, diâmetro dos circuitos 25 mm. A figura (2) mostra o esquema de termopares desta termopilha.

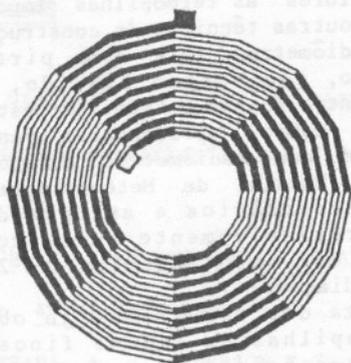


Figura 2 - Esquema do circuito de termopares das termopilhas nºs 2 e 3 - estrela.

Termopilha nº 4 - Full-Black, contendo 30 termopares de bismuto/antimônio em substrato de mylar (espessura da 25 μm), com espessura de filme igual a 3000 Å, resistência elétrica a 25 °C de 7.8 kΩ e diâmetro de 25 mm. A figura (3) mostra o esquema do circuito desta termopilha.

Para se obter as variações nas resistências elétricas das termopilhas as mesmas foram instaladas em piranômetros e posicionadas em estufa com temperaturas variando entre -10 °C a 50 °C. As resistências elétricas foram medidas, após cada equilíbrio térmico ter-se estabelecido, com um multímetro digital de 3 1/2 dígitos da E.C.B. do Brasil.

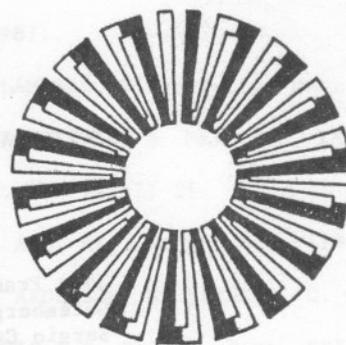


Figura 3 - Esquema do circuito de termopares das termopilhas nº 4 - Full-Black.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente da configuração dos circuitos de termopares mostrado na seção anterior, nota-se que as resistências elétricas das termopilhas é da ordem de kΩ. Se compararmos estas resistências de filmes finos com resistência elétrica de termopilhas tradicionais obtidas por outros processos, ou seja, termopilhas de fios metálicos que normalmente são da ordem de Ω, nota-se uma considerável diferença nesta característica. A alta resistividade nas termopilhas de filmes finos é atribuída as imperfeições existentes na estrutura cristalina dos condutores metálicos /9/. A irregularidade no reticulado reduz a mobilidade dos eletrons através da diminuição do livre caminho médio provocando consequentemente o aumento da resistividade. Outro fator que contribui para o elevado valor da resistência elétrica é a espessura da trilha metálica dos circuitos de termopares que é da ordem de 3000 Å e cujo valor representa em média menos que 25% do livre caminho médio do bismuto (de 10<sup>4</sup> a 2 10<sup>4</sup> Å) que é o metal dominante do par metálico /10/.

Do ponto de vista prático, resistência das termopilhas de filmes finos elevadas representa uma desvantagem em relação às termopilhas elaboradas de fios, pois apresentam problemas de impedância ao serem acopladas aos sistemas de aquisições de dados, além de que o efeito Johnson ou ruído Johnson é mais pronunciado, limitando assim sua detectividade.

As figuras 4, 5, 6 e 7 mostram os resultados de variação da resistência elétrica com a temperatura para as quatro termopilhas. Nos eixos vertical estão representados as variações das resistências elétricas em kΩ e no eixo horizontal as variações da temperatura em graus centígrados (°C).

As curvas obtidas mostram que independentemente do tipo e substrato da termopilha, a variação de resistência elétrica com a temperatura é linear dentro do intervalo de temperatura considerado. Esta característica é importante porque o coeficiente de temperatura para estes substratos (kapton, mylar e acrílico) é aproximadamente constante dentro do mesmo intervalo. Os resultados mostram ainda que a variação para os substratos de kapton e mylar é negativa, ou seja, inclinação decrescente, e para o substrato de acrílico positivo, inclinação crescente.

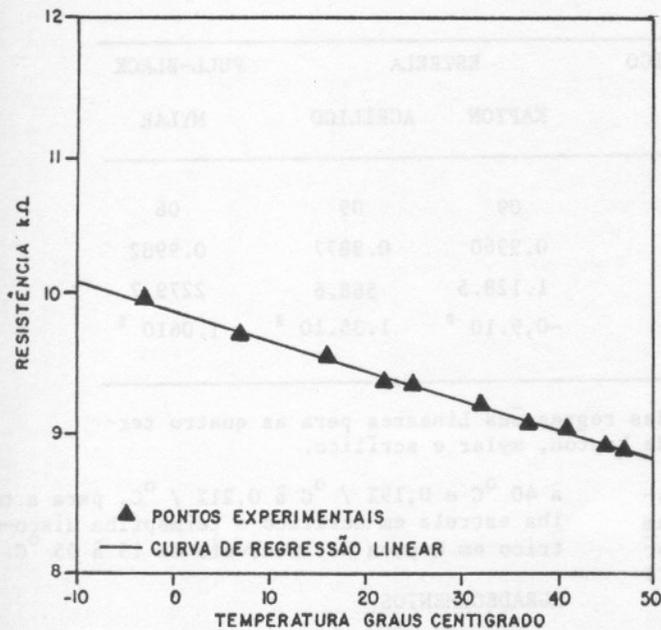


Figura 4 - Variação da Resistência Elétrica com a Temperatura na Termopilha Disco-Concêntrico em Substrato de Kapton.

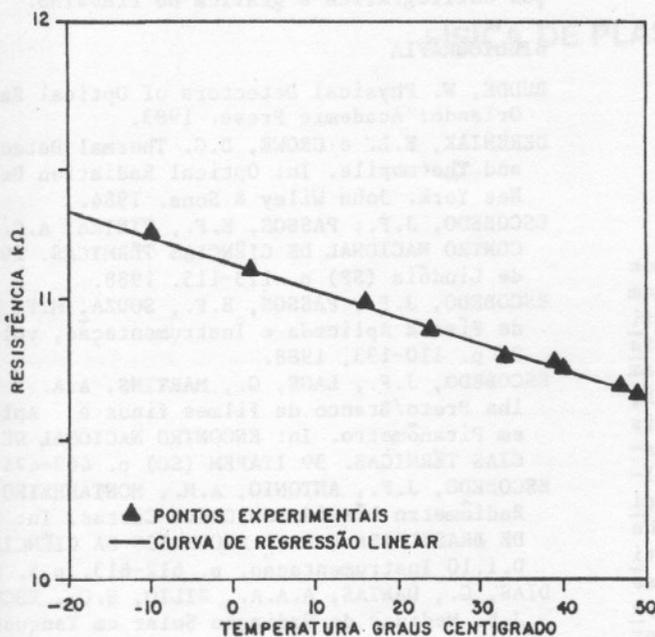


Figura 5 - Variação da Resistência Elétrica com a Temperatura na Termopilha Estrela em Substrato de Kapton.

Tais características deve-se ao elevado coeficiente de dilatação do acrílico e do baixo coeficiente de dilatação do kapton e mylar em relações aos metais na forma de filmes finos.

O Quadro I mostra os resultados estatísticos obtidos nas análises de regressão linear, onde são relatados os números de dados observados N, coeficientes de determinação  $r^2$ , o valor de F a nível de 1% de significância e coeficiente angular.

Analisando-se os resultados pode-se concluir que as equações de regressão se ajustaram bem aos dados, como mostram os elevados valores dos coefi-

cientes de determinação  $r^2$ , próximos dos 100% de confiabilidade. Os coeficientes angulares  $b$  ou seja variação das resistências elétricas com a temperatura  $\Delta R/\Delta T$  para as quatro termopilhas foram.

Termopilha 1:  $-2,00 \cdot 10^{-2} \text{ k}\Omega/\text{°C}$

Termopilha 2:  $-9,7 \cdot 10^{-3} \text{ k}\Omega/\text{°C}$

Termopilha 3:  $1,36 \cdot 10^{-2} \text{ k}\Omega/\text{°C}$

Termopilha 4:  $-1,0 \cdot 10^{-2} \text{ k}\Omega/\text{°C}$

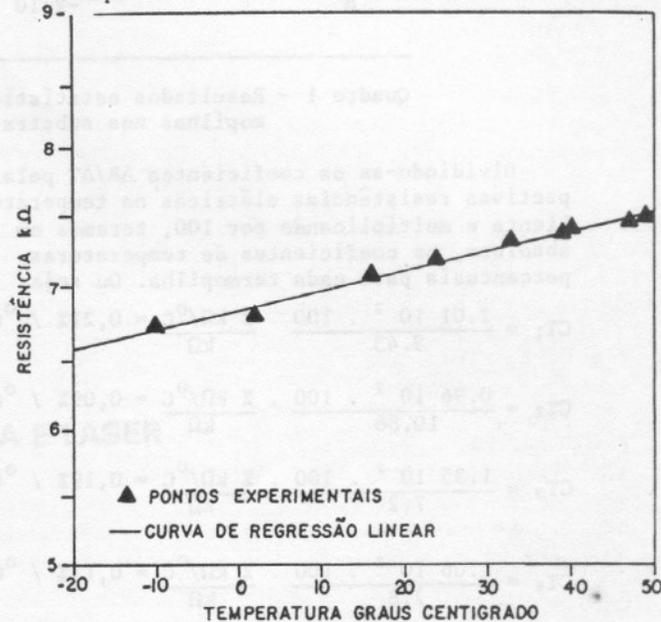


Figura 6 - Variação da Resistência Elétrica com a Temperatura na Termopilha Estrela em substrato de Acrílico.

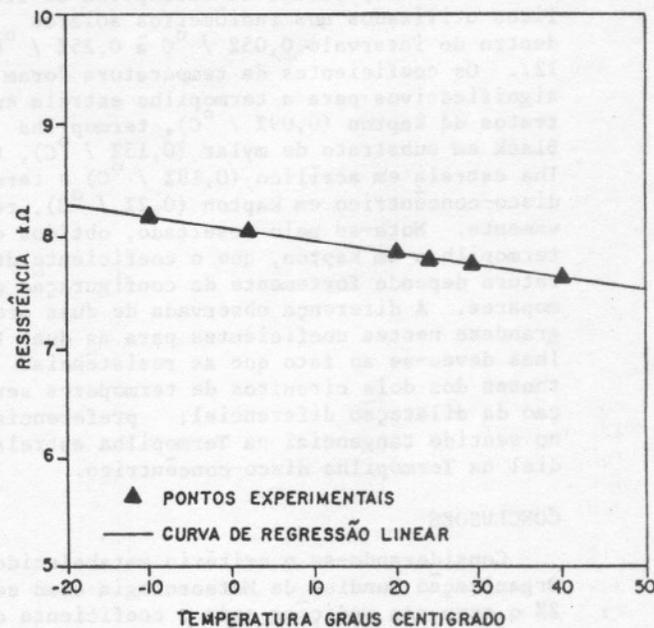


Figura 7 - Variação da Resistência Elétrica com a Temperatura na Termopilha Full-Black em Substrato de Mylar.

TERMOPILHA	DISCO-CONCÊNTRICO		ESTRELA		FULL-BLACK
SUBSTRATO	KAPTON	KAPTON	ACRÍLICO	MYLAR	
N	10	09	09	06	
r <sup>2</sup> (%)	0,9943	0.9960	0.9877	0.9982	
F**	1424.5	1.128.5	568.6	2279,7	
b	-2.10 <sup>2</sup>	-0,9.10 <sup>2</sup>	1.35.10 <sup>2</sup>	1.0610 <sup>2</sup>	

Quadro 1 - Resultados estatísticos das regressões Lineares para as quatro termopilhas nos substratos de kapton, mylar e acrílico.

Dividindo-se os coeficientes  $\Delta R/\Delta T$  pelas respectivas resistências elétricas na temperatura ambiente e multiplicando por 100, teremos em valor absoluto, os coeficientes de temperaturas (CT) percentuais para cada termopilha. Ou seja.

$$CT_1 = \frac{2.01 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{9.43} \cdot \frac{\% \text{ k}\Omega/\text{°C}}{\text{k}\Omega} = 0,21\% / \text{°C}$$

$$CT_2 = \frac{0.96 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{10.86} \cdot \frac{\% \text{ k}\Omega/\text{°C}}{\text{k}\Omega} = 0,09\% / \text{°C}$$

$$CT_3 = \frac{1.35 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{7.2} \cdot \frac{\% \text{ k}\Omega/\text{°C}}{\text{k}\Omega} = 0,19\% / \text{°C}$$

$$CT_4 = \frac{1.06 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{7.8} \cdot \frac{\% \text{ k}\Omega/\text{°C}}{\text{k}\Omega} = 0,13\% / \text{°C}$$

Os resultados obtidos para os coeficientes de temperatura entre 0,09% / °C a 0,21% / °C, foram considerados bons quando comparados com os coeficientes de temperatura de termopilha de fios metálicos utilizados nos radiômetros solares situam dentro do intervalo 0,05% / °C à 0,25% / °C. /11, 12/. Os coeficientes de temperatura foram mais significativos para a termopilha estrela em substratos de kapton (0,09% / °C), termopilha Full-Black em substrato de mylar (0,13% / °C), termopilha estrela em acrílico (0,19% / °C) e termopilha disco-concêntrico em kapton (0,2% / °C), respectivamente. Nota-se pelo resultado, obtidos com as termopilhas em kapton, que o coeficiente de temperatura depende fortemente da configuração dos termopares. A diferença observada de duas ordens de grandeza nestes coeficientes para as duas termopilhas deveu-se ao fato que as resistências resultantes dos dois circuitos de termopares serem função da dilatação diferencial, preferencialmente no sentido tangencial na Termopilha estrela e radial na Termopilha disco-concêntrico.

CONCLUSÕES

Considerando-se o critério estabelecido pela Organização Mundial de Meteorologia como sendo de 2% o erro nas medições para o coeficiente de temperatura, nossos resultados estabelecem imprecisões da ordem de 0,09% / °C para a termopilha estrela em substrato de kapton no intervalo de temperatura de 5 °C à 45 °C; 0,13% / °C, para a termopilha Full-Black no substrato de mylar de 10 °C

à 40 °C e 0,19% / °C à 0,21% / °C, para a termopilha estrela em acrílico e termopilha disco-concêntrico em kapton no intervalo de 15 à 35 °C.

AGRADECIMENTOS

FAPESP (89/0746-1) e FUNDUNESP (DFP-160/89) - pelo apoio financeiro do projeto. Aos funcionários João C. Omodei e Antonio A. Martins colaboração datilográfica e gráfica no trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BUDDE, W. Physical Detectors of Optical Radiation Orlando: Academic Press. 1983.  
 DERENIAK, E.L. e CROWE, D.G. Thermal Detectors and Thermopile. In: Optical Radiation Detectors Nes York. John Wiley & Sons. 1984.  
 ESCOBEDO, J.F.; PASSOS, E.F., VIEIRA, A.C. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS. 2ª. Águas de Lindóia (SP) p. 113-115. 1988.  
 ESCOBEDO, J.F., PASSOS, E.F., SOUZA, M.F. Revista de Física Aplicada e Instrumentação, vol. 3, nº 2, p. 110-133, 1988.  
 ESCOBEDO, J.F., LAGE, G., MARTINS, A.A. Termopilha Preto/Branco de filmes finos e Aplicações em Piranômetro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS. 3ª ITAPEM (SC) p. 469-474. 1990.  
 ESCOBEDO, J.F., ANTONIO, A.M., MONTANHEIRO, T.J. Radiômetro Líquido de Ondas Curtas. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. 43ª D.1.10 Instrumentação. p. 612-613. p.5. 1991.  
 DIAS, G., DANTAS, A.A.A., ZILIO, S.C., ESCOBEDO, J.F. Medidas da Radiação Solar em Tanques de Piscicultura. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA 43ª. A.1. Agronomia e Zootecnia. p.38-39, RJ. 1991.  
 LAGE, G. Desenvolvimento de um radiômetro para medir simultaneamente radiação solar global, fração refletida da radiação solar Global e Radiação Líquida de Ondas Curtas. Tese de Doutorado Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, 1-153, 1991.  
 AKHATAR, S.M.J. & KHAWAJA, E.E. Study of the Resistivity and the Thermoelectric Power of Thin Films of Sb and Bi. Phys. Stat. Sol. (a) 87: 335-340, 1985.  
 ECKERTO, L. Physics of Thin Films. 2ª ed. Praga, Publisher of Tec. Literature, 1986. 340p.  
 ROBINSON, N. Solar Radiation, Elsevier. 1966.  
 COULSON, K.L. Solar Terrestrial Radiation, London Ap. 1975.