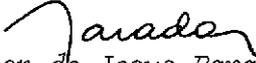


1. Publicação nº <i>INPE-2875-RTR/039</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input type="checkbox"/> Externa <input checked="" type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DME/DEI</i>	Programa <i>PCD</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>TERMÔMETRO</i> <i>DIODO</i> <i>SENSOR</i> <i>TEMPERATURA</i>			
7. C.D.U.: <i>551.508.824</i>			
8. Título <i>INPE-2875-RTR/039</i> <i>TERMÔMETRO COM SENSOR A DIODO E INTERFACE PARA PLATAFORMAS DE COLETA DE DADOS</i>		10. Páginas: <i>21</i>	11. Última página: <i>15</i>
9. Autoria <i>José Claudio Mura</i>		12. Revisada por <i>Juan Garrido</i> <i>Juan Carlos P. Garrido</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho descreve o circuito de um termômetro eletrônico que utiliza diodo semicondutor como elemento sensor de temperatura. Ele pode ser utilizado para medidas de temperatura ambiente na faixa de -15 a 55°C. Contém ainda a descrição de uma interface para Plataformas de Coleta de Dados (PCD's). Esta interface tem capacidade de registrar a temperatura máxima e mínima ocorrida num período de 24 horas.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

This work describes the circuit of an electronic thermometer which makes use of a semiconductor diode as the temperature sensor. It can be used for temperature measurements in the range of -15 to 55^oC. This work also describes an interface to be used in Data Collection Platforms (DCP's). This interface is capable of registering maximum and minimum temperature in a 24 hours period.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
<u>CAPÍTULO 1 - TERMÔMETRO COM SENSOR A DIODO</u>	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Fonte de tensão de referência	1
1.3 - Fonte de corrente para o diodo sensor	2
1.4 - Amplificador	3
1.5 - Ensaio do termômetro	5
<u>CAPÍTULO 2 - INTERFACE PARA PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS</u>	11
BIBLIOGRAFIA	15

••

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Fonte de referência	2
1.2 - Fonte de corrente para o diodo sensor	3
1.3 - Amplificador de baixa deriva de "off-set"	4
1.4 - Esquema geral do termômetro	6
1.5 - Ilustração do método de medida	7
1.6 - Curva de erro médio dos sensores ensaiados (V _{reta} - V _{obtido})	9
1.7 - Curvas dos sensores	10
2.1 - Diagrama de blocos da interface	12
2.2 - Interface do termômetro	14

..

CAPÍTULO 1

TERMÔMETRO COM SENSOR A DIODO

1.1 - INTRODUÇÃO

Os diodos e transistores prestam-se muito bem como sensores de temperatura para certas aplicações. Eles oferecem boa linearidade na variação de tensão sobre a junção PN (cerca de $-2,5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$) quando diretamente polarizada, principalmente na faixa de temperatura ambiente.

Este tipo de termômetro necessita normalmente de uma fonte de tensão bastante estável e de amplificadores de baixa deriva e boa linearidade.

O termômetro aqui descrito utiliza o diodo como elemento sensor. Ele será utilizado para fins meteorológicos, ou seja, para medida de temperatura ambiente. Um termômetro para esse fim sofre influência da temperatura ambiente, ou seja, todo o circuito deve funcionar na temperatura que está sendo medida. Isto implica a necessidade de uma fonte de referência compensada termicamente e de um amplificador compensado, para uma baixa deriva de tensão de "off-set".

O circuito do termômetro é composto de três blocos: fonte de tensão de referência, fonte de corrente para o diodo sensor e o amplificador.

1.2 - FONTE DE TENSÃO DE REFERÊNCIA

O circuito da fonte de referência está representado na Figura 1.1. A tensão de referência é dada pela seguinte equação:

$$V_{\text{ref}} = V_z \frac{R_2 + R_3}{R_3},$$

onde V_z é a tensão de zener.

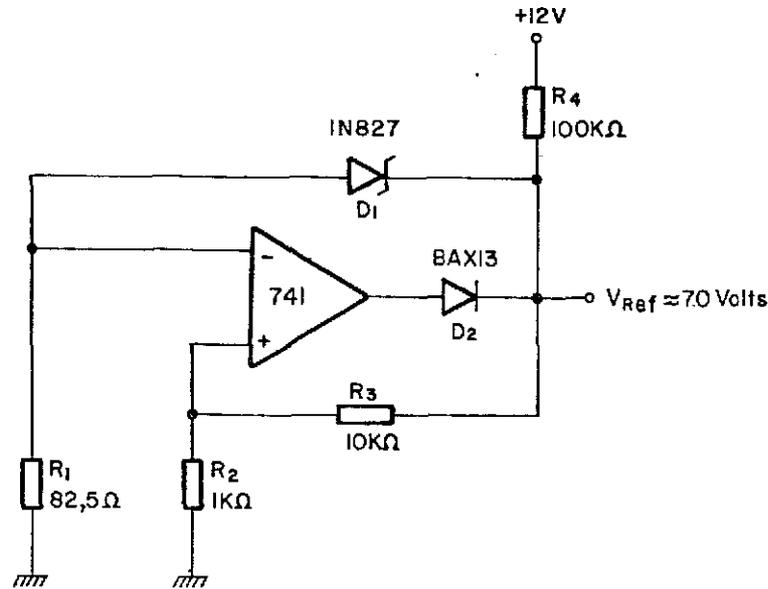


Fig. 1.1 - Fonte de referência.

1.3 - FONTE DE CORRENTE PARA O DIODO SENSOR

O princípio da medida de temperatura com diodo consiste em polarizar diretamente o diodo sensor com uma corrente constante e medir a queda de tensão sobre ele, pois esta queda de tensão ($-2,5\text{mv}/^{\circ}\text{C}$) é proporcional à temperatura.

O circuito que fornece corrente constante ao diodo está representado na Figura 1.2. Seu funcionamento baseia-se no seguinte: como a tensão na entrada não-inversora é praticamente nula a saída do operacional acompanhará a variação de tensão no diodo, provocada pela temperatura, para manter o potencial na entrada inversora praticamente nulo. Logo, a corrente sobre R_6 será de aproximadamente $46\mu\text{A}$, (V_{ref}/R_6). Uma vez que a corrente de entrada do operacional é muito baixa (menor que 10nA), toda corrente de aproximadamente $46\mu\text{A}$ passa pelo diodo sensor.

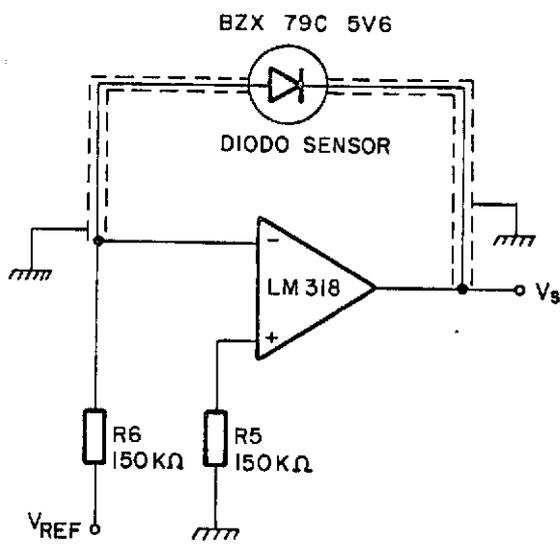


Fig. 1.2 - Fonte de corrente para o diodo sensor.

A escolha do diodo utilizado como sensor baseou-se no critério de menor espalhamento possível da tensão direta de polarização a $46\mu A$ de corrente. Este critério foi escolhido para que seja mínima a faixa de ajuste de um diodo sensor para outro. Os diodos escolhidos foram os da família zener, uma vez que eles apresentam um nível de dopagem na junção PN muito bem controlado. O tipo ensaiado foi o BXZ 79 C (5V6, 400 mW), que é bastante comum no mercado.

Como a tensão de saída do operacional é proporcional à temperatura, o nível de saída é muito baixo, sendo necessário portanto amplificar este sinal a um nível apropriado para poder relacionar melhor a temperatura com a tensão obtida.

1.4 - AMPLIFICADOR

No protótipo desenvolvido estabeleceu-se uma faixa de -15 a $+55^{\circ}C$ para medida de temperatura ambiente; tal faixa cobre praticamente todas as regiões do Brasil. A esta faixa de $70^{\circ}C$ associaram-se níveis de tensão variando de 0 a 7 volts, ou seja, $-15^{\circ}C$ corresponde a 7V, enquanto $+55^{\circ}C$ a 0V.

Para fazer esta associação de temperatura e tensão especificada, utilizou-se um circuito amplificador de ganho variável e com controle de nível DC de saída. Este circuito está representado na Figura 1.3.

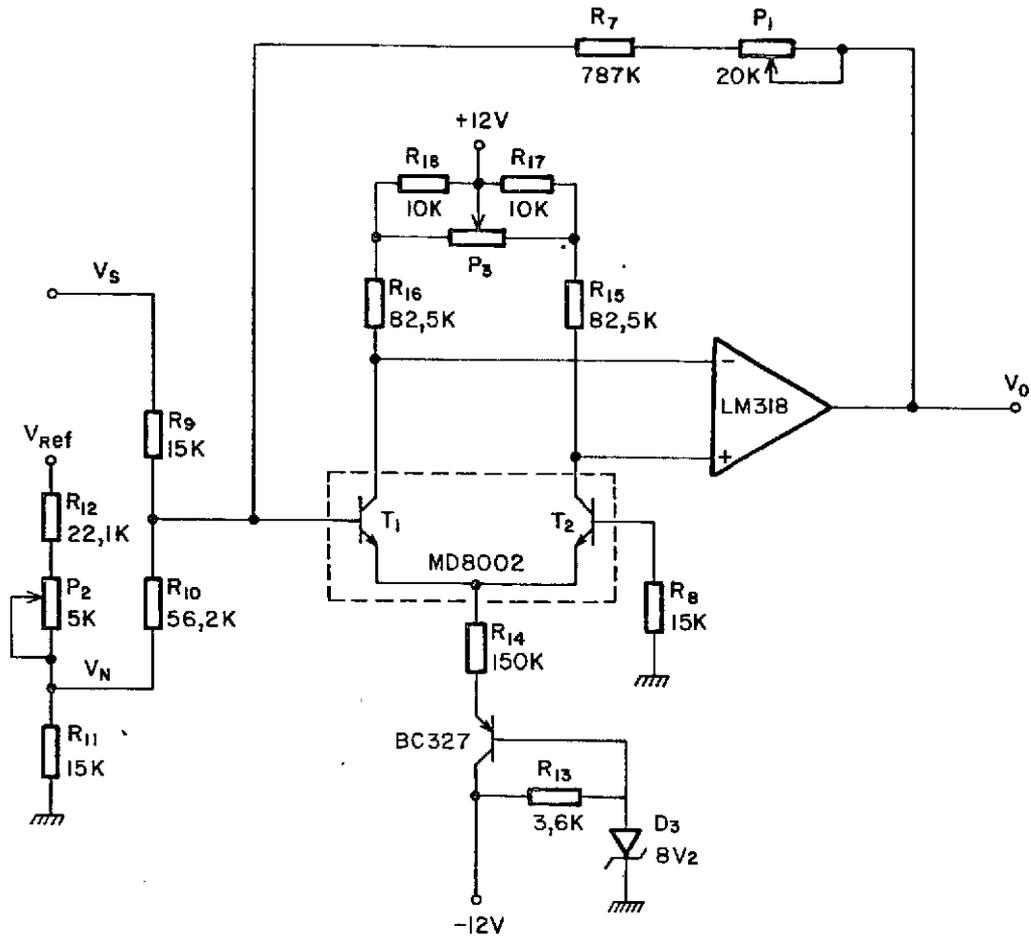


Fig. 1.3 - Amplificador de baixa deriva de "off-set".

A variação de ganho do amplificador é dada pelo potenciômetro P_1 , e a variação do nível DC de saída é conseguida através da soma da tensão de nível, V_N , com a tensão de saída do sensor, V_S . O ajuste da tensão de nível é dado pelo potenciômetro P_2 .

Como os amplificadores operacionais possuem uma variação na tensão de "off-set" com a temperatura, e como é necessária uma variação muito pequena para não haver erros de medida, foi introduzido no amplificador um circuito para compensar esta deriva na tensão de "off-set". Esta compensação consiste em colocar a tensão de "off-set" inicial em zero volts, pois a variação com a temperatura é proporcional à tensão de "off-set" inicial (National Semicondutores, 77). Isto é conseguido com um par de transistores diferenciais, T_1 e T_2 , ligando seus coletores nas entradas do amplificador operacional e fazendo um desbalanceamento, através do potenciômetro P_3 , na corrente de coletor, com as bases aterradas, até que a tensão de "off-set" na saída do amplificador operacional seja zero. Em seguida ligam-se as entradas dos sinais nas bases dos transistores, já desconectadas da terra, como se fossem as entradas do amplificador.

1.5 - ENSAIO DO TERMÔMETRO

O esquema geral do circuito ensaiado está representado na Figura 1.4.

O método utilizado para o levantamento da curva do sensor, consistiu em introduzir o circuito do termômetro e o diodo sensor em uma cuba de óleo de transformador para serem resfriados e aquecidos conjuntamente. O óleo de transformador foi utilizado porque apresenta elevada isolamento elétrica e um ponto de solidificação em torno de -15°C .

A ilustração do método de medida está na Figura 1.5.

O procedimento utilizado na medida consistiu em tomar a cuba de óleo a -15°C , já com o sensor e o circuito dentro, e a partir daí fazer o levantamento da curva do sensor aquecendo gradativamente cerca de 1°C a cada 7 minutos, até chegar à temperatura de 55°C . Para se obter uma distribuição homogênea de temperatura no ponto de medida, o diodo sensor e o termômetro de mercúrio foram colocados dentro de um tubo de ensaio, também com óleo.

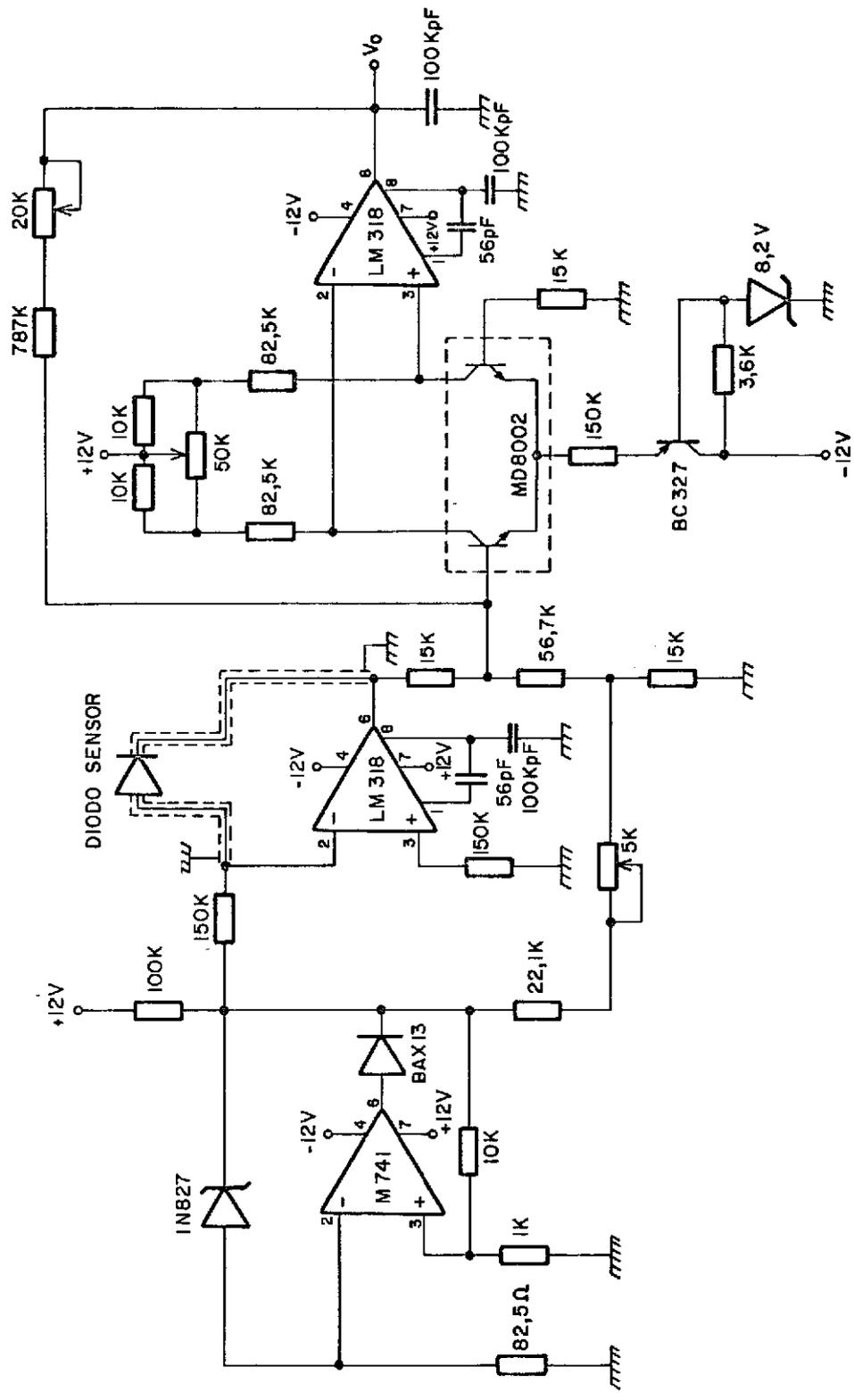


Fig. 1.4 - Esquema geral do termômetro.

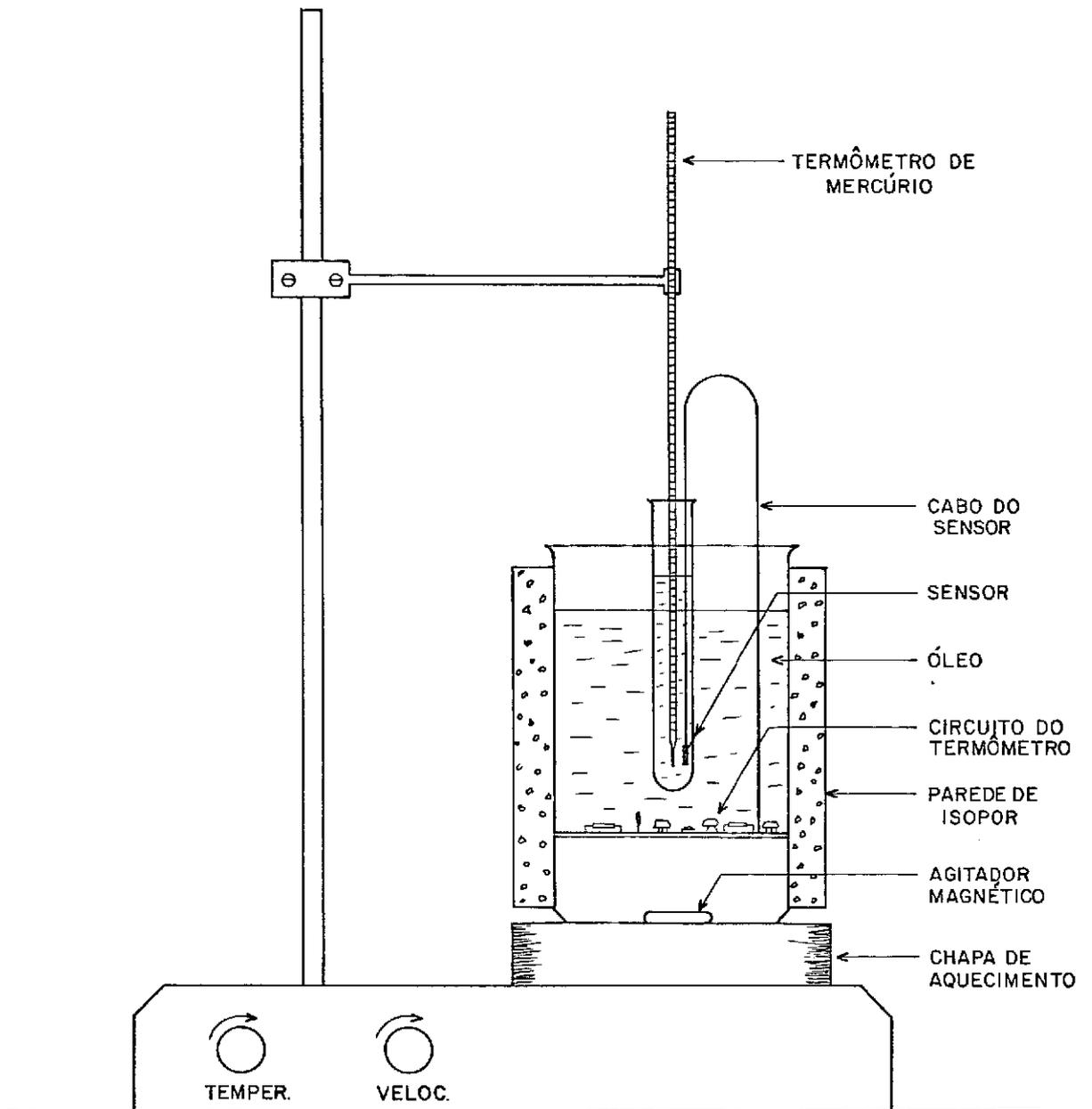


Fig.1.5 - Ilustração do método de medida.

Foram ensaiados 5 diodos sensores; o sensor número 1 foi calibrado em dois pontos antes do levantamento de sua curva. A calibração consistiu em colocar primeiramente o diodo sensor na temperatura de 30°C e ajustar o potenciômetro P_1 , que varia o nível DC de saída, até que a saída indique 2,50 volts. Em seguida o sensor é colocado na temperatura de 0°C e, através do ajuste do potenciômetro de ganho P_2 , a saída é colocada em 5,50 volts. A partir daí, repete-se o procedimento até os dois pontos convergirem.

Os 4 diodos sensores restantes foram ensaiados, tomando como base a calibração feita para o sensor número 1; com isto, observou-se o comportamento do termômetro quando o diodo sensor é substituído.

A Figura 1.6 apresenta as curvas dos 5 diodos sensores ensaiados. Nota-se que as curvas dos sensores descalibrados 2, 3, 4 e 5 apresentam praticamente apenas um deslocamento do nível DC em relação ao número 1. Desta forma, a calibração desses 4 sensores seria praticamente ajustar o nível DC através de P_1 e um pequeno ajuste de ganho através de P_2 .

A Figura 1.7 apresenta a curva média de erro dos 5 sensores ensaiados. Esse erro é calculado tomando ponto a ponto o valor da reta menos o valor obtido. Nota-se que o maior erro ocorre no extremo superior, 55°C , que é da ordem de 70 mV, representando cerca de $0,7^{\circ}\text{C}$.

Fig. I.6 – CURVA DE ERRO MÉDIO DOS SENSORES ENSAIADOS
(V reta – V obtido)

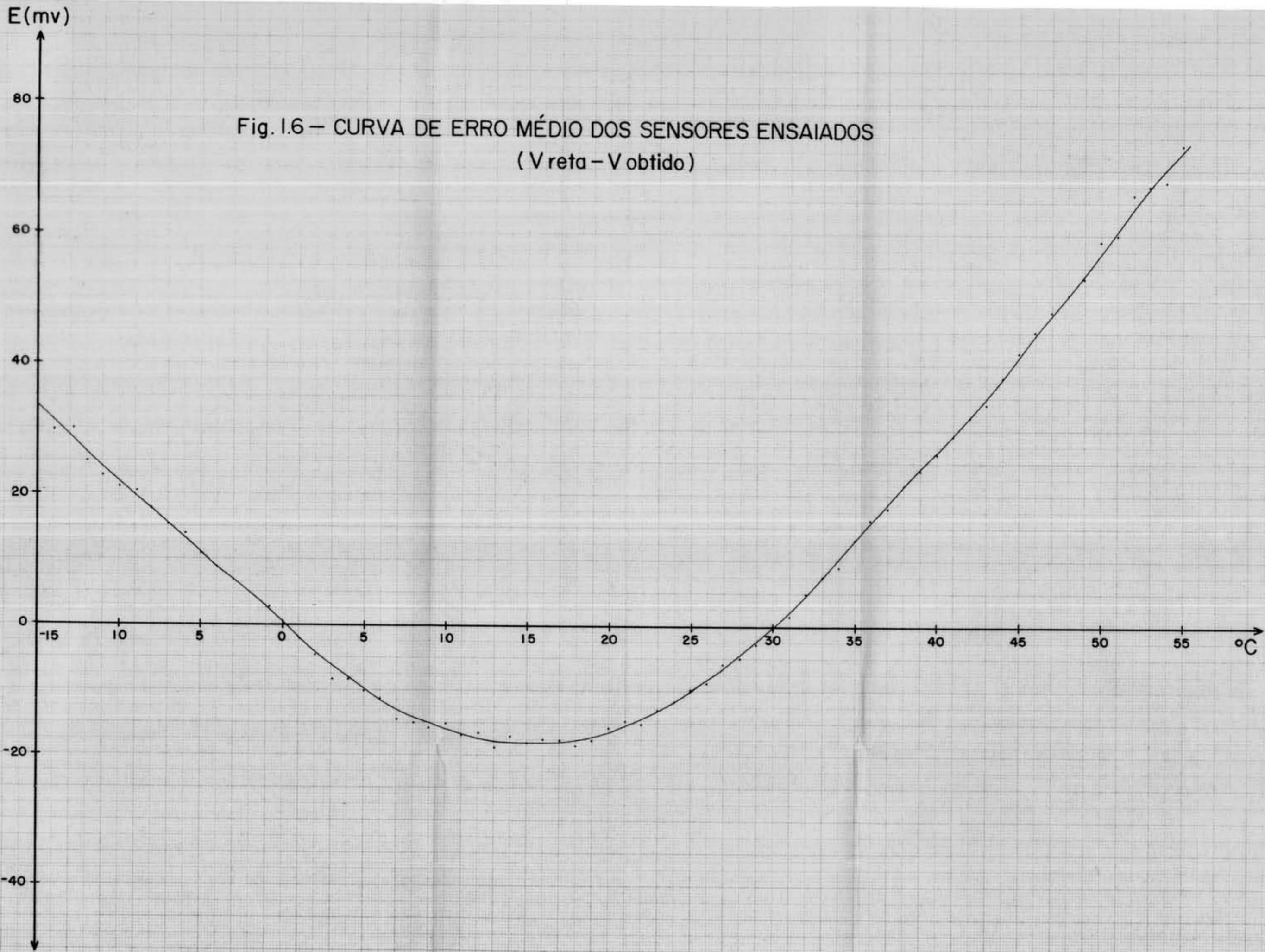
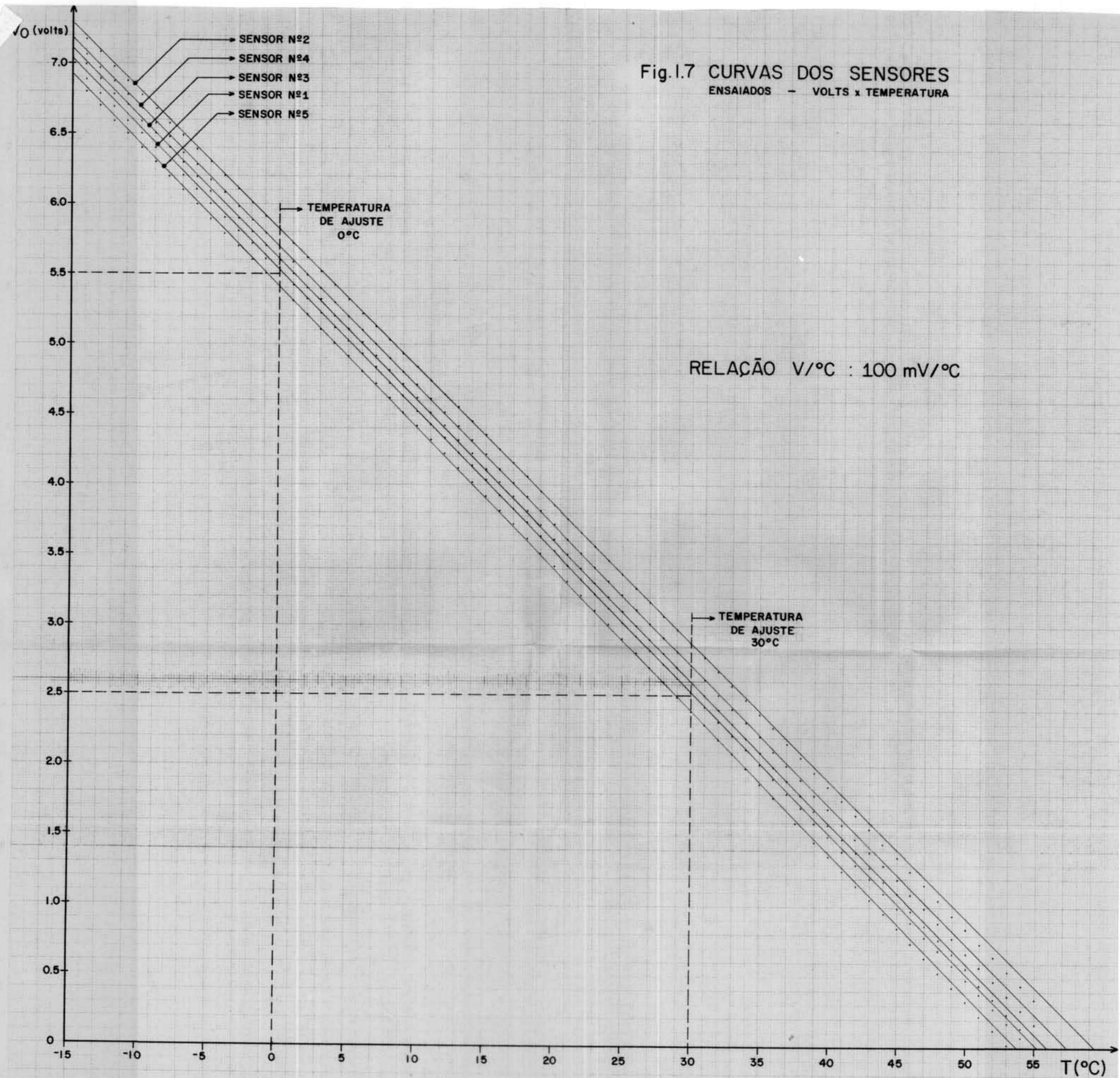


Fig.1.7 CURVAS DOS SENSORES
ENSAIADOS - VOLTS x TEMPERATURA



CAPÍTULO 2

INTERFACE PARA PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS

O termômetro apresentado na parte anterior será utilizado nas Plataformas de Coleta de Dados, sendo necessário, portanto, desenvolver uma interface entre o termômetro e a PCD. Esta interface tem a capacidade de armazenar a temperatura máxima e a mínima ocorrida durante um período de 24 horas e também a temperatura atual.

A Figura 2.1 mostra o diagrama de blocos desta interface.

A saída analógica do termômetro é convertida em digital através de um conversor A/D de 8 bits. O dado na saída do conversor é armazenado no registrador de temperatura atual e também é comparado com os dados de temperatura máxima e mínima, armazenados nos acumuladores. Caso o dado ultrapasse a máxima ou mínima armazenada, ele é substituído no lugar do dado anterior.

Como a temperatura máxima e mínima estão relacionadas a um período de 24 horas, os acumuladores, onde estão armazenadas estas temperaturas, deverão ser zerados a cada período. As temperaturas máxima e mínima ocorrem em horários distintos, portanto, seus acumuladores também deverão ser zerados em horários distintos.

Os horários em que são zerados os acumuladores são determinados por uma fotocélula. Ao clarear o dia, a fotocélula aciona um monoestável que zera o acumulador de temperatura máxima e um contador de intervalos. Por sua vez, o contador de intervalos fornecerá um pulso, 6 horas após ter sido zerado, que irá zerar o acumulador de temperatura mínima. Este mesmo contador fornecerá outro pulso, 18 horas após ter sido zerado, para que a fotocélula tenha condição de acionar o monoestável novamente ao amanhecer.

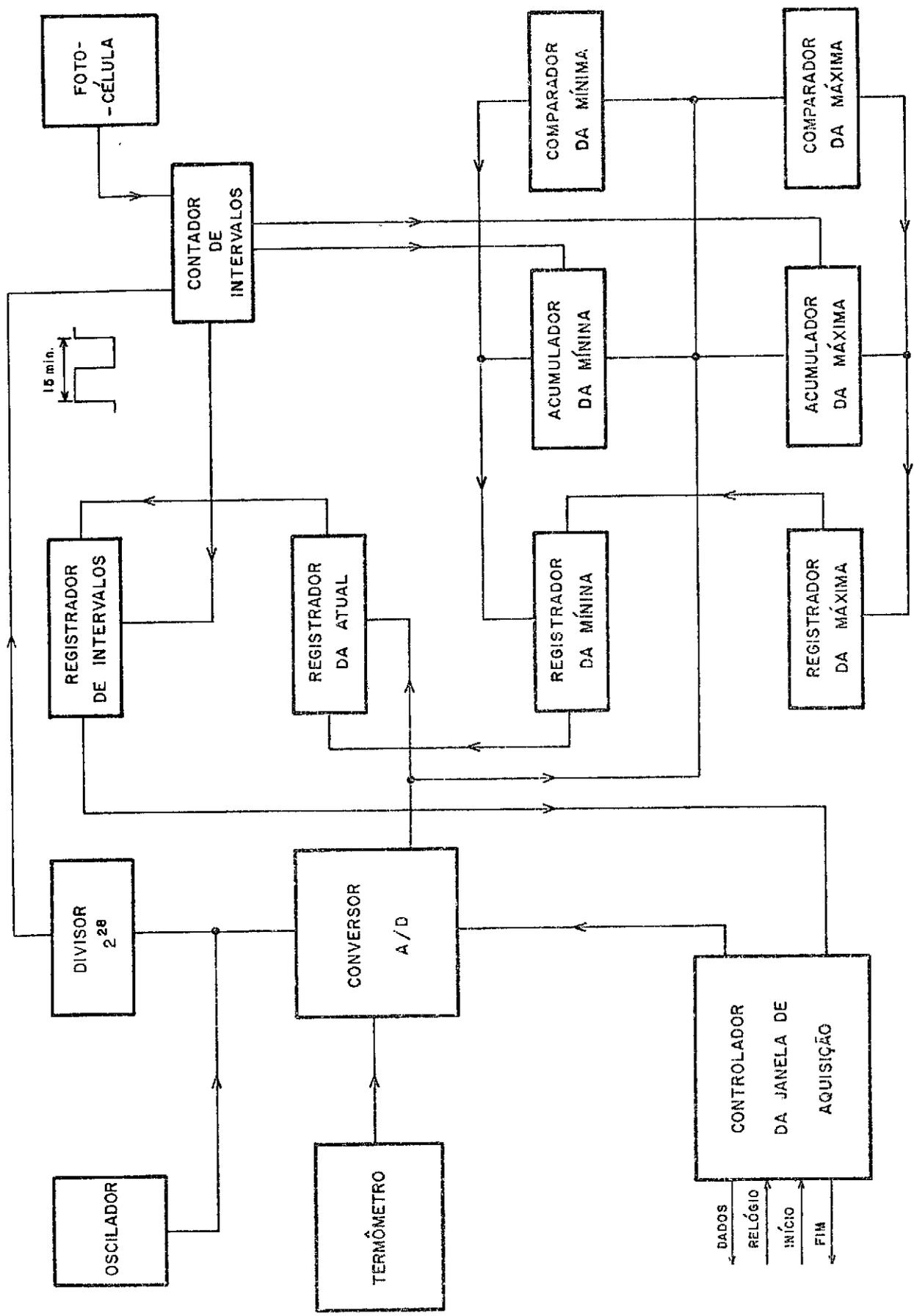


Fig. 2.1 - Diagrama de blocos da interface.

A cada aquisição da plataforma serão transferidos 32 bits de informação na seguinte sequência: os 8 primeiros bits são do registrador de intervalo que dá a informação de estado do contador de intervalos, os 8 bits seguintes são do registrador de temperatura atual, seguidos dos 8 bits do registrador de temperatura mínima e os 8 bits finais do registrador de temperatura máxima.

A contagem desses 32 bits é feita pelo controlador da ja nela de aquisição.

A Figura 2.2 mostra o diagrama elétrico da interface. To dos os componentes digitais são da família C-MOS para que se tenha con sumo mínimo.

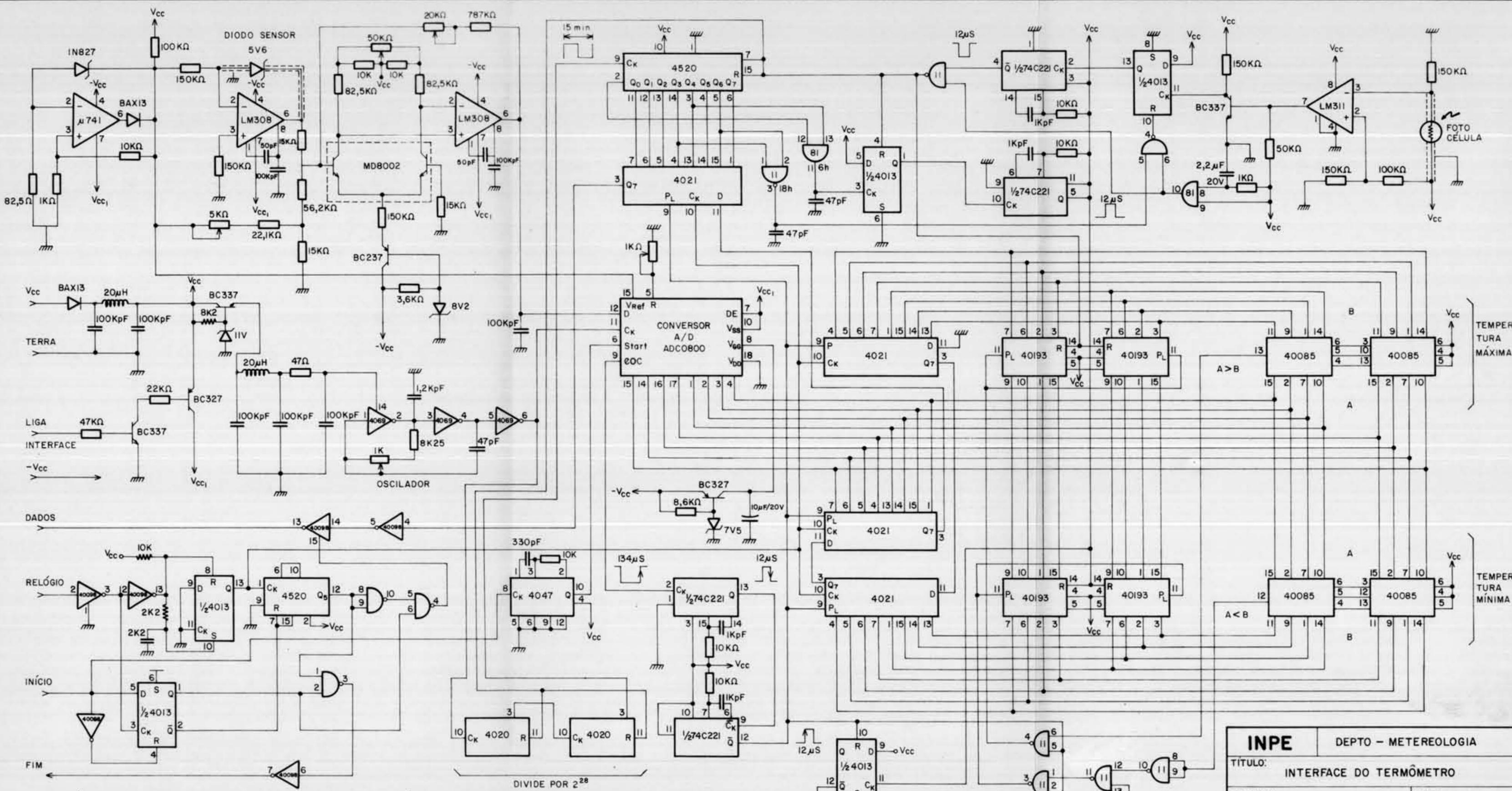


Fig. 2.2

INPE		DEPTO - METEOROLOGIA	
TÍTULO: INTERFACE DO TERMÔMETRO			
PROJETO: J. C. MURA		DATA: JUN/81	
DESENHO: CARMEN LÚCIA		DATA: ABRIL/83	

BIBLIOGRAFIA

KOCK, C.J. Diode or transistor makes fully linear thermometer.

Electronics, 49(10):110-12, May 1976.

SHAH, M.J. Stable voltage reference uses single power supply.

Electronics, 13(3):74, Mar. 1977.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. *Linear applications*; handbook 1, Santa Clara, Ca, 1977.