

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**ALECSANDER FELIPE DOS SANTOS DE  
LIMA**

**LÓGICA E CIRCUITOS LÓGICOS**

Termômetro de temperatura ambiente  
utilizando circuitos lógicos

**CAMPINAS**

**2021**

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Termômetros são dispositivos utilizados em diversas aplicações que necessitam de medição de temperatura. Existem vários tipos, desde os modelos analógicos aos digitais. Apresentaremos nesse projeto um dispositivo que utiliza um sensor de temperatura (LM35) e exibe a temperatura para o usuário em um display 7 segmentos utilizando técnicas propostas na disciplina.

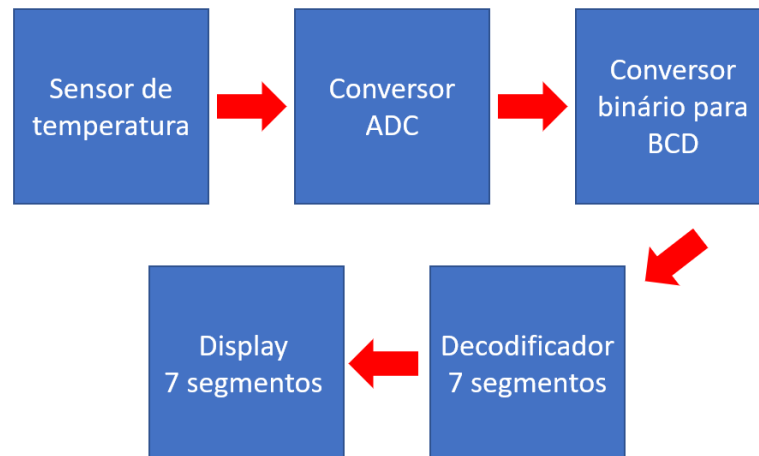


Figura 1 - Diagrama de blocos do projeto

## 2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

### 2.1. Sensor de temperatura

O sensor de temperatura utilizado no desenvolvimento do projeto foi o LM35. Foi escolhido por conta da facilidade de encontrar no mercado e seu acessível valor. O sensor para o projeto possui encapsulamento TO-92, possuindo três terminais. O primeiro é a alimentação (até 32 V), o segundo é sua saída e por fim, o terceiro pino é o GND.

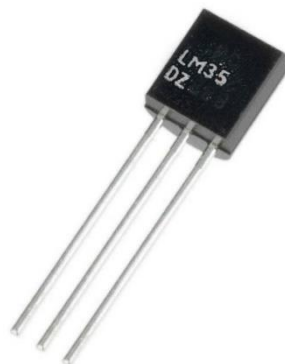


Figura 2 - LM35 encapsulamento TO-92

No simulador Isis Proteus é possível variar a temperatura grau a grau e verificar sua saída. Segundo o datasheet do componente a cada grau incrementado a saída aumenta 10 mV. Por exemplo 24 °C temos 240 mV.

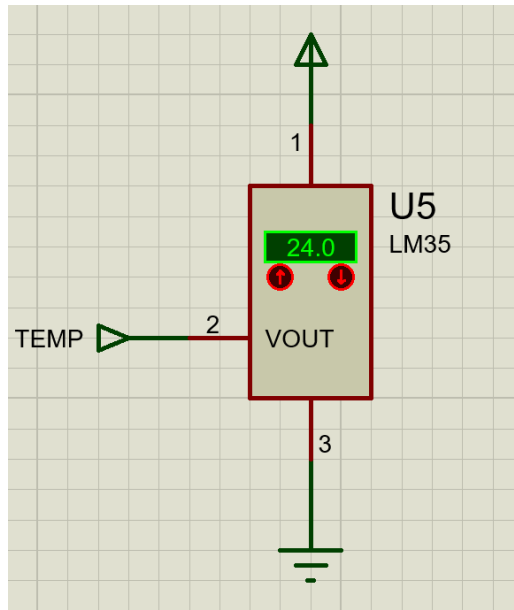


Figura 3 - LM35 no software Proteus

## 2.2. Conversor Analógico Digital

Fenômenos da natureza podem ser representados por sinais analógicos. Com base nisso, escolhemos um Conversor Analógico Digital, ADC na sigla, que como o nome sugere, converte um sinal em algo digital. A saída do LM35 pode ser ligada diretamente na entrada (pino 6) do ADC0804 (ADC escolhido). O componente entrega em sua saída o valor correspondente em binário.

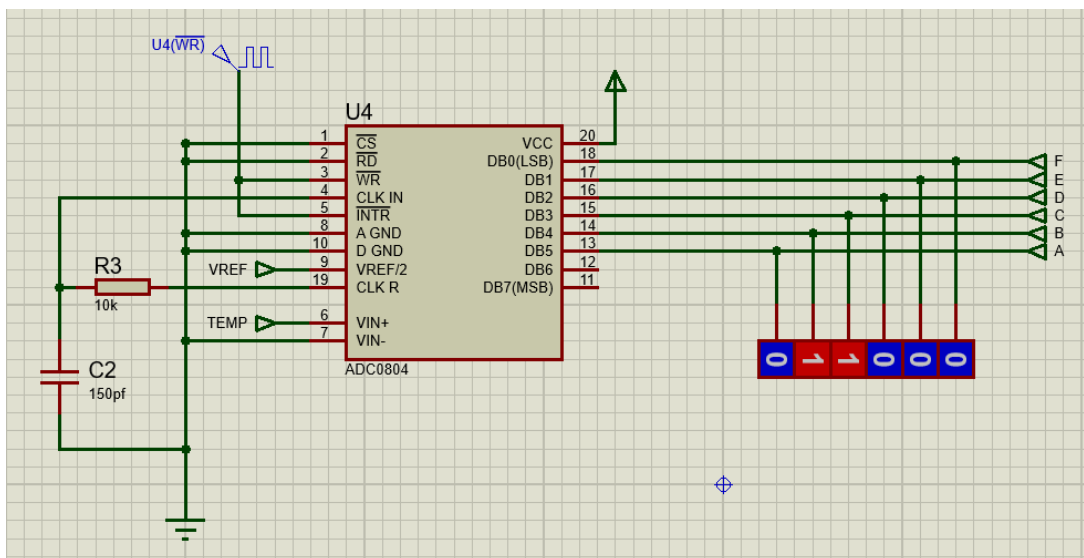
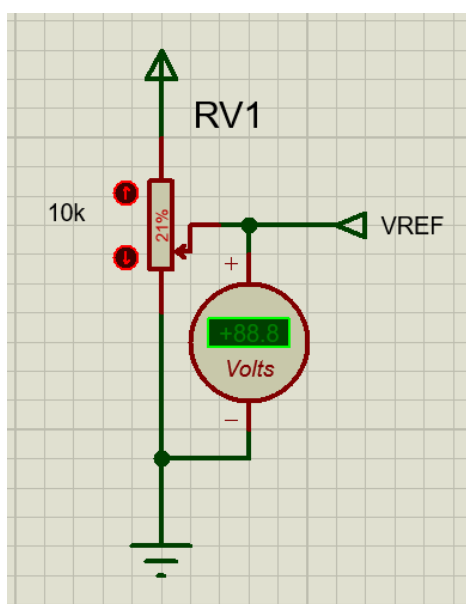


Figura 4 - ADC0804 no Proteus

Na figura acima obtemos o resultado em binário 011000 que se transformado em decimal o valor corresponde 24, mesmo valor que está no componente LM35 na figura 3.

Para ajuste fino temos o pino 9 (VREF). Esse terminal é utilizado para calibrar o ADC conforme a temperatura medida. Usamos um trimpot para fazer esse ajuste. Sem isso possivelmente o sensor estaria marcando 24 °C, mas o resultado em binário seria outro valor qualquer.



*Figura 5 - Trimpot do ajuste de calibração do ADC*

Os pinos 3, 4 e 5 estão ligados ao clock com a finalidade de atualizar os valores medidos a cada um segundo conforme foi configurado. É possível modificar esse intervalo através de ajustes no clock.

### **2.3. Decodificador 7 segmentos**

Para simplificar a montagem, foi usado dois decodificadores de 7 segmentos. Esses circuitos integrados trabalham com 4 bits de entrada e conforme a combinação exibe os números correspondentes (em decimais ou hexadecimais).

Foi usado o circuito integrado 4511. O componente ainda está disponível no mercado e tem valor consideravelmente acessível. No proteus podemos simular o componente usando "Logicstate", que nada mais são botões que mudam os estados de 0 para 1 (e vice versa) quando clicados.

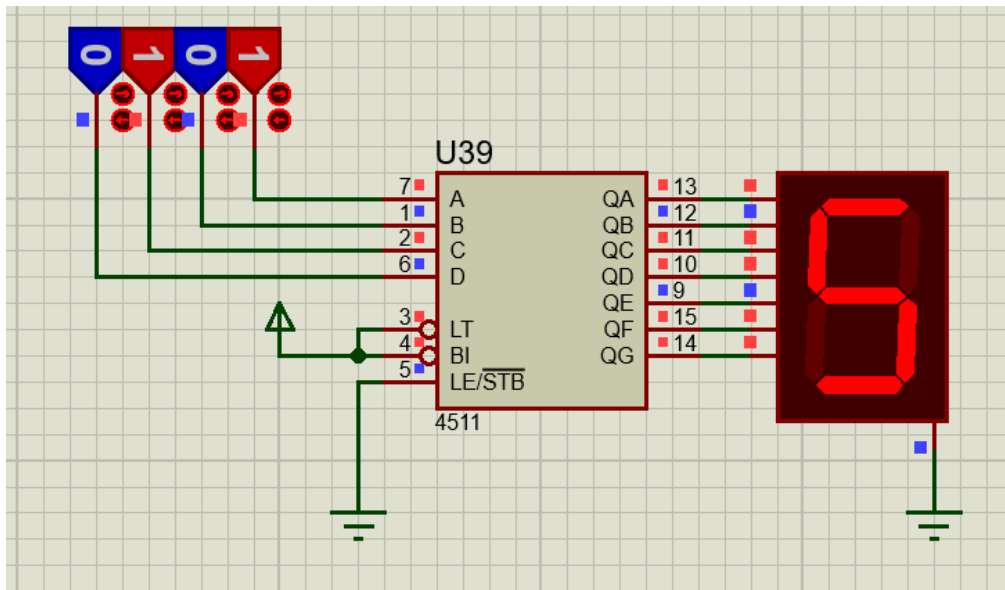


Figura 6 - Simulação usando o CI 4511, um display 7 segmentos e "logicstates"

## 2.4. Conversão binário para BCD

O ADC0804 fornece valores em binário de até 8 bits, mas para exibir na forma decimal nos dois displays 7 segmentos precisamos transformar em BCD.

O formato BCD é composto de 4 bits para display (terminais A, B, C e D do 4511). Dessa forma é possível exibir de 0 a 9 facilmente. Determinamos que a temperatura máxima a ser exibida seria de 39 °C, então foi preciso de 2 bits para o display correspondente da dezena e 4 bits para o display da unidade.

Tabela 1 - Tabela verdade correspondente

Entradas							Saída BDC					
A	B	C	D	E	F	Decimal	B6	B5	B4	B3	B2	B1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	1	5	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	1	0	6	0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	1	7	0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	0	8	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	9	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	10	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	11	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	12	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	13	0	1	0	0	1	1

0	0	1	1	1	0	14	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	1	1	15	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	16	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	0	1	17	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	18	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	19	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	20	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	1	21	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0	22	1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	1	1	23	1	0	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	24	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	25	1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0	26	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	1	27	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0	28	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1	29	1	0	1	0	0	1
0	1	1	1	1	0	30	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	31	1	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	32	1	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1	33	1	1	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	34	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	35	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	0	36	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	37	1	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0	38	1	1	1	0	0	0
1	0	0	1	1	1	39	1	1	1	0	0	1

As entradas A e B correspondem aos pinos DB5 e DB4 respectivamente e os demais pinos correspondem às entradas C, D, E e F.

Pela tabela verdade podemos montar utilizar Karnaugh e obter a equação para montar o circuito.

$$B6 = A + BD + BC$$

$$B5 = A + \bar{B}CE + \bar{B}CD + CDE + B\bar{C}\bar{E}$$

$$B4 = ADE + \bar{B}C\bar{D}\bar{E} + B\bar{C}\bar{D}\bar{E} + BCDE$$

$$B3 = BC\bar{D} + B\bar{D}\bar{E} + A\bar{D}\bar{E} + \bar{B}CDE + \bar{A}\bar{B}DE$$

$$B2 = A\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}E + \bar{A}\bar{C}DE + \bar{B}CDE + B\bar{C}\bar{D}\bar{E} + BCDE$$

$$B1 = F$$

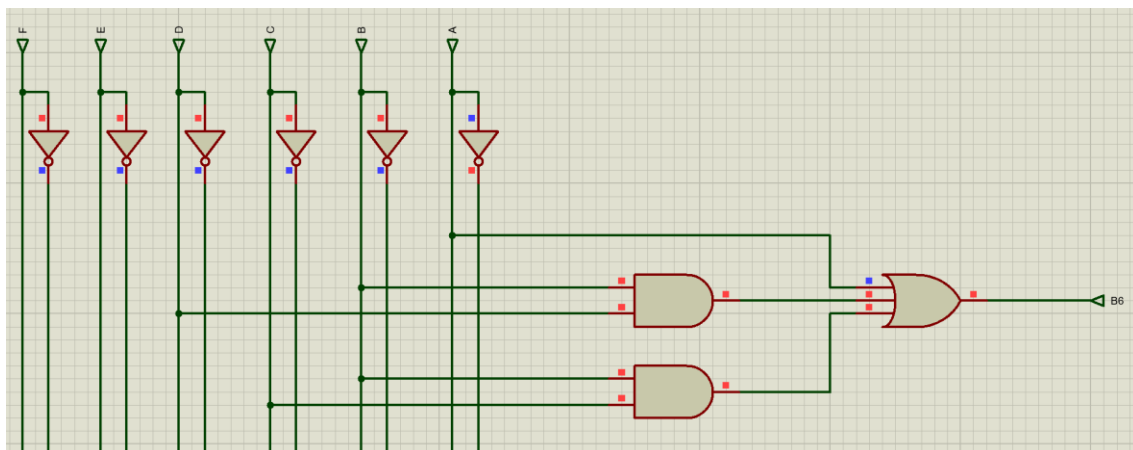


Figura 7 - Saída B6

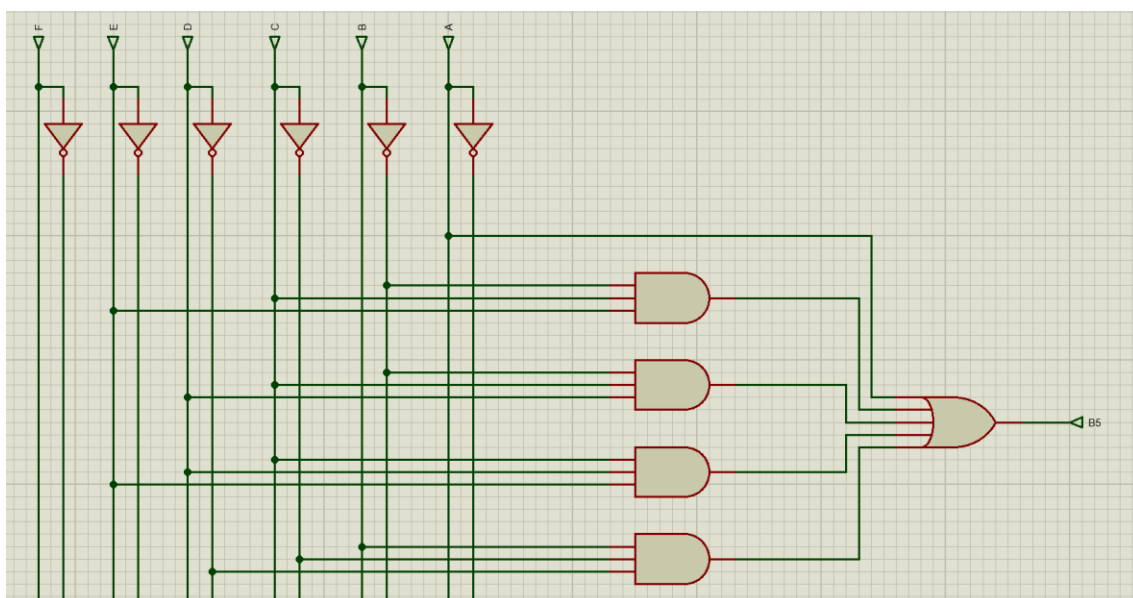


Figura 8 - Saída B5

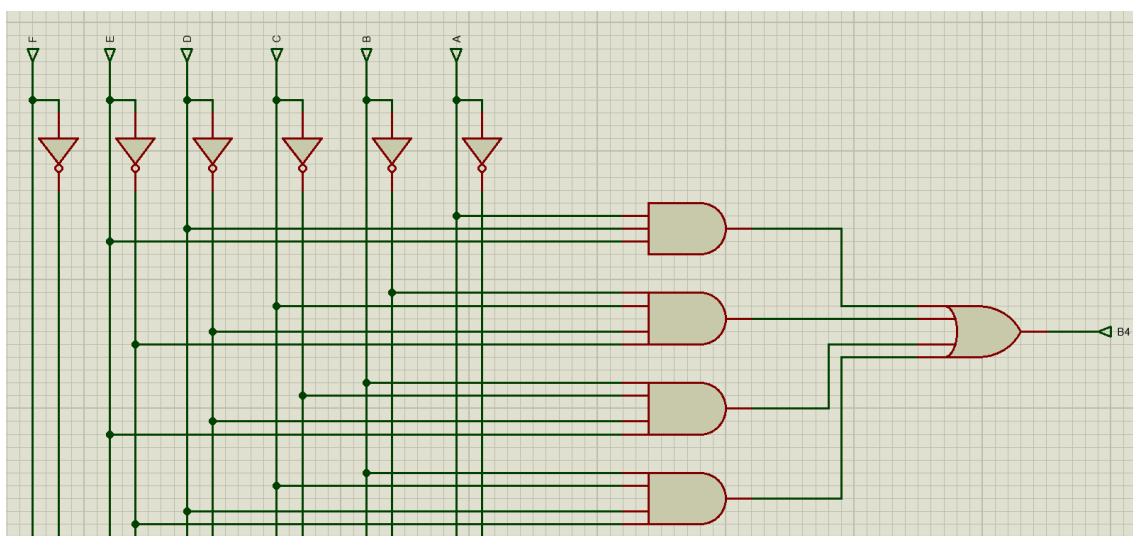


Figura 9 - Saída B4

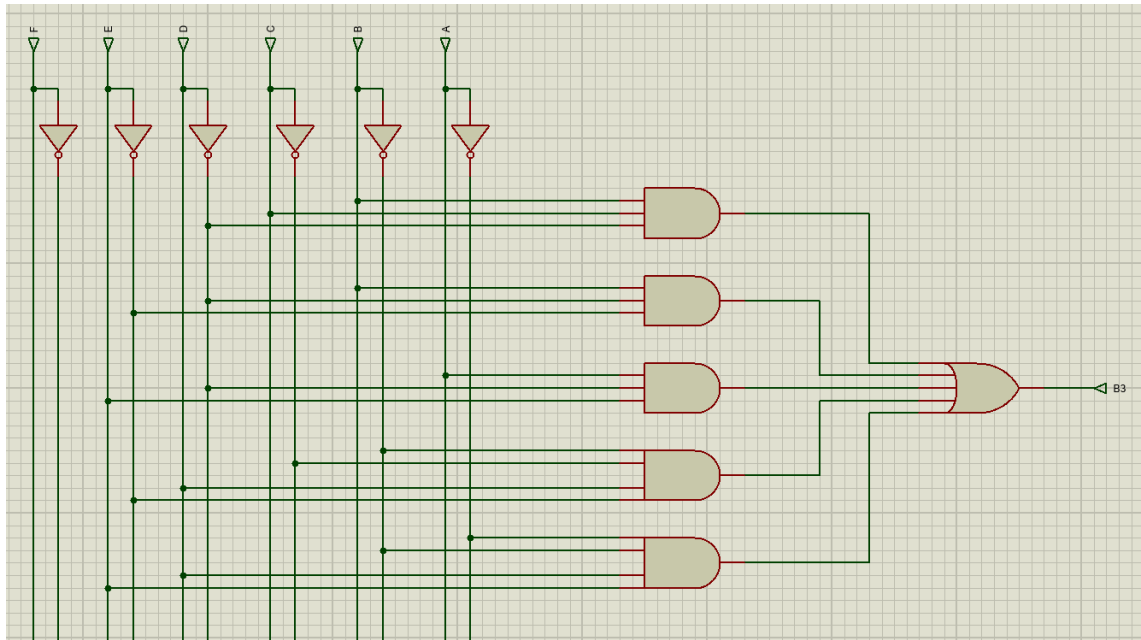


Figura 10 - Saída B3

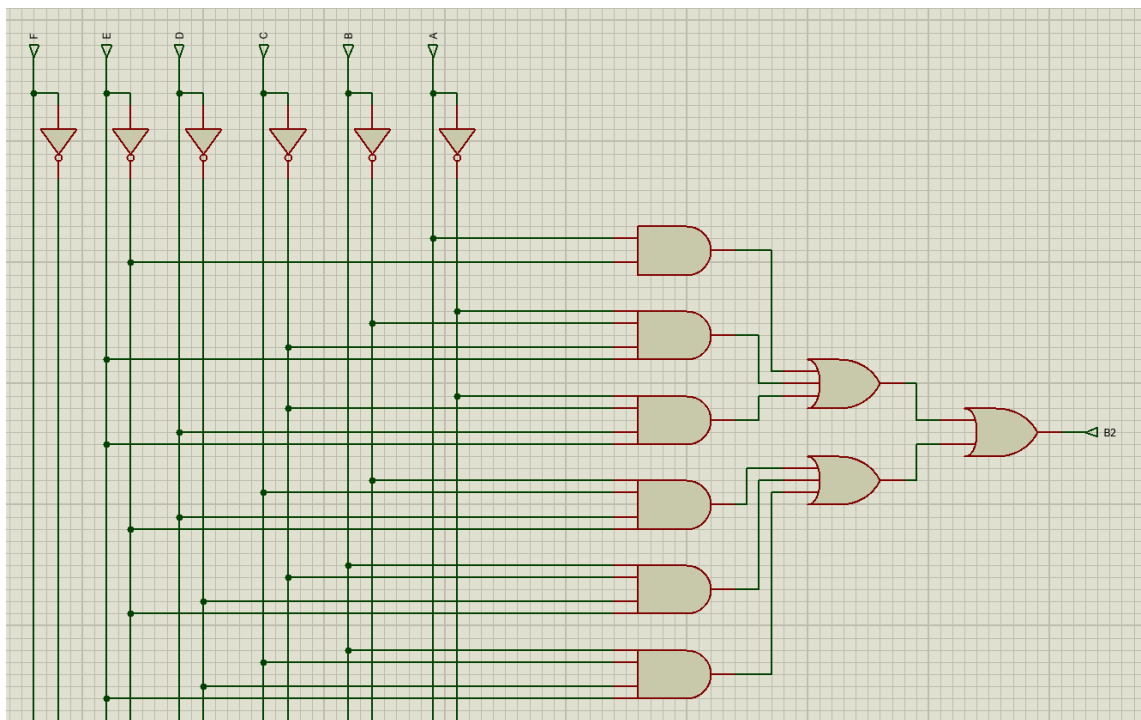


Figura 11 - Saída B2

### 3. CONCLUSÃO

Na simulação foi obtido um resultado satisfatório. O trimpot foi regulado com 1,30 V e com isso até os 37 °C teve bastante confiabilidade. Temperaturas maiores que isso o erro dimensional era de +2°C. O projeto foi montado apenas no simulador, então provavelmente ao montar em uma protoboard (ou em uma



placa de circuito impresso), usando componentes reais, o erro dimensional seja outro.

O intuito do projeto era ser viável, usando componentes disponíveis no mercado e com valores acessíveis. Porém, a parte de conversão binário para BCD utilizou muitas portas lógicas que acabou por inviabilizar a fabricação do termômetro real. Mas, talvez seja possível fazer a substituição desse “módulo” por circuitos contadores, de forma a viabilizar o projeto novamente.

Uma alternativa seria o uso de microcontroladores, como Arduino ou PIC. Esses componentes possuem ADCs de 10 bits ou 12 bits de resolução e terminais de entrada/saída (IOs). Com o uso de linguagem de programação e o microcontrolador adequado, poderíamos eliminar o uso do ADC0804 e a parte que faz a conversão binário para decimal. Para economizar portas do componente podemos utilizar o conversor BCD 4511 ou outro equivalente.