

USO DO DIODO 1N4148 COMO SENSOR LINEAR DE TEMPERATURA

Arthur Moura Camargos de Freitas

Carlos Renato Borges dos Santos

Estudante de Engenharia Elétrica

Professor de Eletrônica do IFMG

Departamento de Engenharia Elétrica - IFMG, Formiga-MG, carlos.renato@ifmg.edu.br

Resumo - O objetivo deste documento é apresentar os resultados obtidos a partir de um trabalho de iniciação científica que visa o estudo e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizando sensores de baixo custo. Neste trabalho, será mostrado os resultados dos experimentos realizados com o diodo 1N4148, que foi usado como sensor de temperatura que, sob determinadas condições, apresenta uma curva da tensão de polarização direta em função da temperatura que pode ser considerada linear.

Palavras-Chave – controle, diodo, linear, sensor, temperatura.

DIODE 1N4148 USED AS TEMPERATURE LINEAR SENSOR

Abstract - The purpose of this paper is to present the results obtained from an undergraduate research work aimed at the study and development of electronic circuits using low-cost sensors. In this paper it is shown the results of experiments performed with 1N4148 diode, which was used as a temperature sensor which, under certain conditions, presents a curve of the forward bias voltage according to temperature which may be considered linear.

Keywords – control, diode, linear, sensor, temperature.

EXEMPLO DE NOMENCLATURA

V_D	Tensão de polarização direta do diodo.
V_{qd}	Componentes da tensão de estator.
I_{qd}	Componentes da corrente de estator.

I. INTRODUÇÃO

A aplicação de sensores em sistemas de controle de processos é cada vez mais encontrada, tanto em ambientes industriais quanto em ambientes prediais. Este crescente aumento na demanda dos sensores se deve principalmente pelo processo de automação, possibilitando uma melhoria no processo de produção ou em uma máquina específica, podendo aumentar seu rendimento, maximizar a produção ou mesmo para facilitar tarefas manuais.

Os sensores têm como objetivo monitorar os valores das variáveis físicas do ambiente e as transforma em sinais elétricos. Para que um sensor possa fazer a medição correta de alguma variável ele deve obedecer a alguns parâmetros, e dentre eles dois foram levados em consideração neste projeto: a linearidade e a faixa de medida.

O sensor mostrado neste artigo tem como ideia principal a relação entre a tensão de polarização direta do diodo e sua temperatura. Dessa forma, pretende-se monitorar a temperatura numa faixa de temperatura 0 a 100°C, mantendo-se uma relação linear entre a tensão de polarização direta do diodo e a temperatura.

Existem no mercado vários sensores capazes de medir a temperatura do ambiente ou de um fluido específico, mas os disponíveis no mercado são de maior custo do que o montado neste projeto, visto que o diodo 1N4148 custa cerca de dez centavos.

II. OBJETIVOS

Como proposta inicial, objetivou-se estudar o comportamento da tensão de polarização direta do diodo através de medições experimentais e estudar a sua linearidade em uma determinada faixa de temperatura. A partir desses dados, objetivou-se construir um circuito que converta o sinal elétrico do diodo (da ordem de mV) para sinais entre 0 e 5 volts para que possa ser lido por um conversor analógico/digital.

III. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Primeiramente foi montado um circuito divisor de tensão colocando uma fonte de cinco volts alimentando uma resistência e o diodo 1N4148. Um voltímetro foi colocado em paralelo ao diodo para medir sua tensão. Utilizando cinco circuitos idênticos aos da fig. 1. Os diodos são imersos em água, cuja temperatura é conhecida e mede-se a tensão do diodo. Para que a condutância da água não altere os resultados, os diodos foram envoltos em um isolante elétrico feito de silicone.



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

[1] Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho, que usam realimentação para controle de suas características. Ele possui duas entradas uma inversora (-) e outra não-inversora (+). O sinal na saída V_{out} , é igual à um ganho A multiplicado pela diferença entre as tensões nas entradas inversora e não inversora, $V_{out} = A (V_+ - V_-)$.

[2] Buffer é um amplificador de ganho unitário usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de saída a uma carga de baixa impedância de entrada.

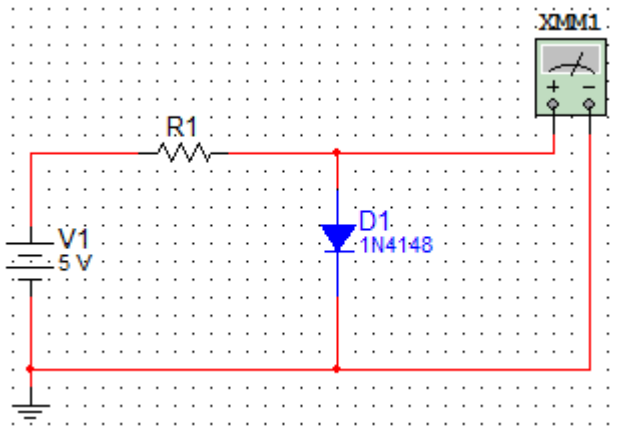


Fig. 1. Divisor de tensão utilizando diodo e resistor.

O circuito da fig. 1 polariza diretamente o diodo D1. A corrente do circuito depende da resistência R1, tensão V1 e V_D do diodo D1. Já a tensão V_D do diodo D1 depende da temperatura.

3.1.1.1 Tensão no diodo em temperatura fixa

No experimento foram montados cinco circuitos divisores de tensão com diodos para a verificação do comportamento dos diodos. As resistências também foram trocadas para poder identificar qual a melhor resistência a fim de garantir um comportamento linear entre temperatura e tensão no diodo, às resistências foram: 100Ω , $1K\Omega$, $10K\Omega$, $22K\Omega$, $39K\Omega$, $100K\Omega$, $1M\Omega$. A temperatura medida foi de $10^\circ C$ e os resultados medidos estão mostrados na tabela I.

TABELA I

Tensão de polarização direta do diodo X Resistência

T (°C)	R1	VD1 (mV)	R2	VD2 (mV)	R3
10	98,6	796	98,8	798	99,2
10	975	672	988	674	986
10	9,8K	567	9,82K	568	9,88K
10	21,75K	529	21,87K	531	21,62K
11	39,4K	502	39,22K	505	39,4K
11	98,5K	459	98,7K	461	98,4K
11	982K	346	986K	347	983K

VD3	R4	VD4 (mV)	R5	VD5 (mV)
804	99	798mV	99,2	802
678	984	675mV	982	676
567	9,83K	567mV	9,84K	567
530	21,48K	530mV	21,62K	529
502	38,9K	502mV	38,78K	500
459	98,4K	459mV	99,4K	456
345	1017K	347mV	1015K	342

Para confirmação dos dados obtidos no primeiro experimento um segundo teste foi realizado, com as mesmas resistências e nas mesmas temperaturas medidas anteriormente para que os dois resultados pudessem ser comparados. Os resultados se encontram na tabela II.

TABELA II

Tensão de polarização direta do diodo X Resistência

T (°C)	R1	VD1 (mV)	R2	VD2 (mV)	R3
10	98,6	843	98,8	844	99,2
10	975	705	988	708	986
10	9,8K	601	9,82K	603	9,88K
10	21,75K	567	21,87K	571	21,62K
11	39,4K	537	39,22K	539	39,4K
11	98,5K	497	98,7K	499	98,4K
11	982K	386	986K	389	983K

VD3	R4	VD4 (mV)	R5	VD5 (mV)
849	99	845	99,2	849
709	984	709	982	709
602	9,83K	604	9,84K	602
568	21,48K	570	21,62K	567
538	38,9K	540	38,78K	537
497	98,4K	497	99,4K	494
386	1017K	389	1015K	385

Como obteve se os valores das tensões sobre cada diodo e possível determinar as resistências na temperatura ambiente de cada diodo no circuito.

3.1.1.2 Tensão no diodo variando a temperatura

O terceiro experimento foi feito utilizando cinco diodos 1N4148 e resistências de 100Ω , $1K\Omega$, $10K\Omega$, $22K\Omega$, $39K\Omega$, $100K\Omega$, $1M\Omega$, uma garrafa térmica, um aquecedor e um termômetro digital. A água era aquecida e medida pelo termopar até uma temperatura específica e em seguida era colocada na garrafa térmica para impedir que ocorresse troca de calor entre a água e o ambiente mantendo a temperatura estável por mais tempo, pois como os diodos estavam envolvidos por uma proteção de silicone ele tem de ficar algum tempo emerso no fluido para poder igualar sua temperatura com a da água. Os dados da fig. 2 mostram a média dos cinco diodos e suas respectivas resistências.

[1] Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho, que usam realimentação para controle de suas características. Ele possui duas entradas uma inversora (-) e outra não-inversora (+). O sinal na saída V_{out} , é igual à um ganho A multiplicado pela diferença entre as tensões nas entradas inversora e não inversora, $V_{out} = A (V_{+} - V_{-})$.

[2] Buffer é um amplificador de ganho unitário usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de saída a uma carga de baixa impedância de entrada.

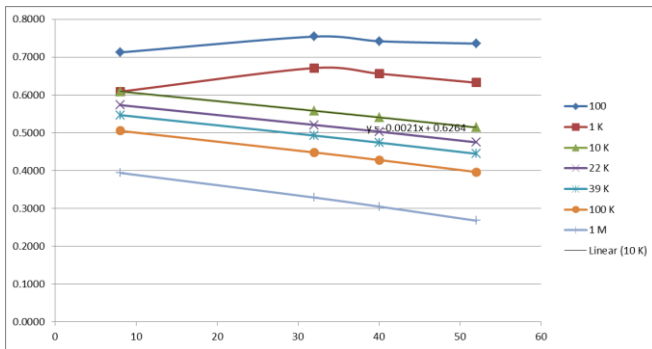


Fig. 2. – Tensão no diodo X Temperatura

Como pode ser observado na fig. 1, com quatro medidas distintas de temperatura a resistência diminui com o aumento da temperatura e a resistência que faz com que as quedas de potencial mais se aproximam de uma reta foi quando colocadas com as resistências de 10KΩ.

3.1.1.3 Encontrando a linearidade entre tensão no diodo e temperatura

Após analisar o gráfico na terceira experiência já foi possível descartar algumas resistências como a de 100Ω, 1KΩ, 100KΩ e 1MΩ, pois em algumas temperaturas a reta muda de inclinação. Nesta fase, decidiu-se aumentar a quantidade de medidas; dessa forma, diversos valores de temperatura foram utilizadas nas medições dos circuitos com as resistências de 10KΩ, 18KΩ, 22KΩ, 27KΩ, 33KΩ, 47KΩ, e 56KΩ, com o intuito de identificar a linearidade das curvas do diodo. Os resultados estão apresentados na fig. 3.

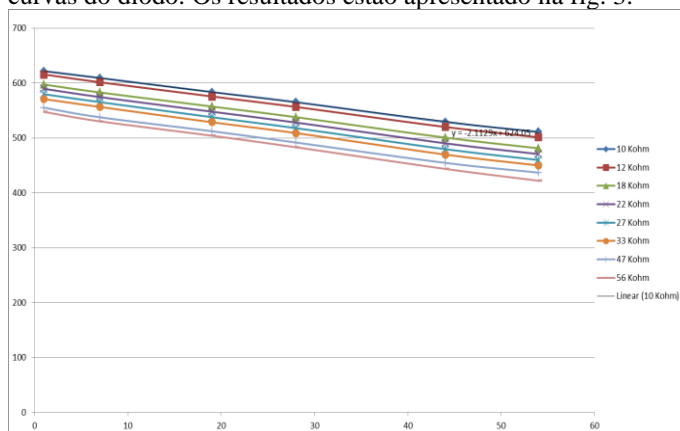


Fig. 3. Tensão no diodo X Temperatura

Analisando a fig. 3 e observando cada uma das equações das retas foi possível observar que a melhor resistência há ser utilizada para a construção do sensor é a de 10KΩ. Pois em todos os experimentos onde se variaram a temperatura as equações das retas nos dois experimentos são as que mais se aproximam, além de que em ambos coeficiente angular das retas não mudam, ou seja teoricamente a equação é a mesma para qualquer ponto inclusive pontos que não foram medidos.

3.1.1.4 Amplificando o sinal de saída do diodo

Com a resistência já definida para o projeto, o próximo passo é de transformar esta reta em um sinal digital. Fazendo com que a menor temperatura seja zero volts e que a maior temperatura se torne cinco volts para isto é necessário a utilização de um Circuito Integrado capaz de amplificar de

deslocar a reta para a origem. O amplificador operacional [1], [2] escolhido foi o LM 324 e a equação utilizada para calcular o ganho e a tensão de entrada não inversora:

$$V_{out} = -A \cdot V_{in}^- + (A + 1) \cdot V_{in}^+ \quad (1)$$

Onde:

V_{out} = Tensão de saída do amplificador operacional,

A = Ganho,

V_{in}^- = Tensão de entrada inversora,

V_{in}^+ = Tensão de entrada não inversora.

Com a equação foi montado um sistema para resolvê-la dois problemas o primeiro era a reta tem uma inclinação negativa, ou seja, quanto maior a temperatura menor é o valor da tensão de saída no diodo este problema foi resolvido colocando o sinal na entrada inversora mudando o sinal do coeficiente angular da reta, o outro problema seria que quando a temperatura fosse a mínima estabelecida pelos experimentos a tensão de saída nunca iria zerar, pois ela estaria acima do eixo, para isto o amplificador operacional foi utilizado como um subtrator ele traria a reta para o zero em uma temperatura já preestabelecida onde zero é quando a temperatura é 8 °C e cinco quando a temperatura é 52 °C . O sistema montado ficou da seguinte forma:

$$0 = -A \cdot 0,609 + (1+A) \cdot V_{in}^+$$

$$5 = -A \cdot 0,514 + (1+A) \cdot V_{in}^+$$

Com as devidas manipulações matemáticas, que não cabe neste o projeto ser deduzido passo a passo. O ganho A calculado é de 52,63 e a tensão não inversora V_{in}^+ é de 0,598 volts. Para confirmação dos cálculos foi utilizado um simulador de AmpOp [2], desenvolvido pelo professor Carlos Renato B. Santos, o Operational amplifier 3.0, para que em seguida o circuito pudesse ser montado em um protoboard, medindo a tensão de saída no AmpOp, variando a temperatura no seu mínimo e máximo e verificar se experimentalmente a saída vai de zero para cinco volts. O circuito a ser montado no protoboard é o da fig. 6 o buffer foi colocado para garantir que a resistência de 1KΩ não interfira nas resistências de ganho do amplificador que são mostradas na figura como R2 e R3. As resistências R4 e R5 em paralelo com a fonte tem como finalidade ser um divisor de tensão, para se obter a queda de potencial de 0,598 volts na entrada não inversora do AmpOp mas neste caso a queda do divisor fornece 0,589 volts. Como no momento do experimento não estava faltando a resistência de 7,5Ω o divisor de tensão foi substituído por um potenciômetro de 1KΩ e regulado para deixar passar um queda de potencial de 0,594 volts, lembrando que um dos pinos da extremidade vai para a fonte o outro pino da extremidade vai para o terra e o pino do meio vai para a porta não inversora do amplificador desta forma o potenciômetro funciona como um divisor de tensão.

Os dados estão mostrados na fig. 4. Quando a temperatura chega a 40 °C a tensão de saída saturava; o problema estava na alimentação do LM 324 que também estava sendo alimentado com cinco volts e saturando em aproximadamente dois volts e meio então. Para corrigir este problema, mudou-se a alimentação do ampOp, cujos resultados estão mostrados na fig. 5.

[1] Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho,

que usam realimentação para controle de suas características. Ele possui duas entradas uma inversora (-) e outra não-inversora (+). O sinal na saída V_{out} , é igual à um ganho A multiplicado pela diferença entre as tensões nas entradas inversora e não inversora, $V_{out} = A (V_{in}^+ - V_{in}^-)$.

[2] Buffer é um amplificador de ganho unitário usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de saída a uma carga de baixa impedância de entrada.

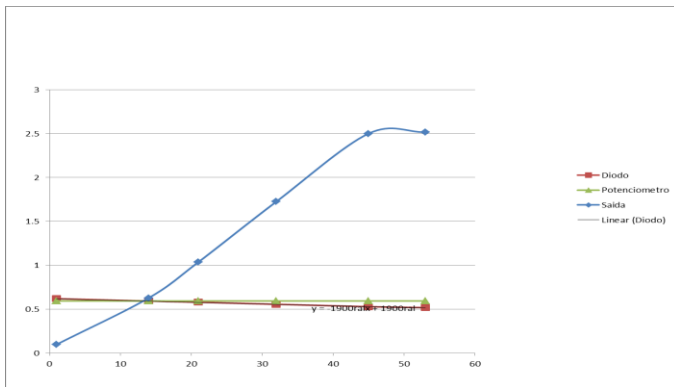


Fig. 4. Tensão na saída do AmpOp

Como o Amp Op Lm324 utilizado para amplificar a saída foi alimentada com cinco volts ele saturou com aproximadamente 3,5 volts, ou seja ele terá de ser alimentado com no mínimo 7,5 volts para que se possa obter 5 volts na saída.

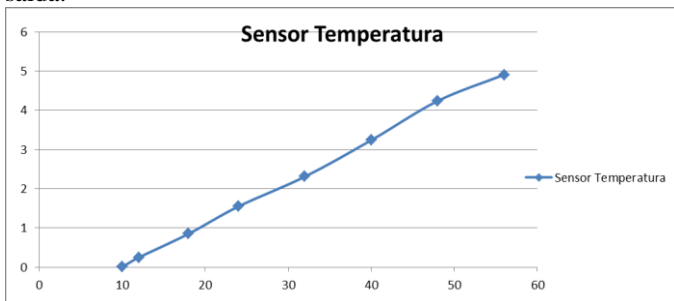


Fig. 5. Tensão na saída do AmpOp com alimentação 8 V

A fig. 4. mostra a curva da saída do Amp Op quando alimentado com 8 volts chegando em aproximadamente cinco volts sem saturar.

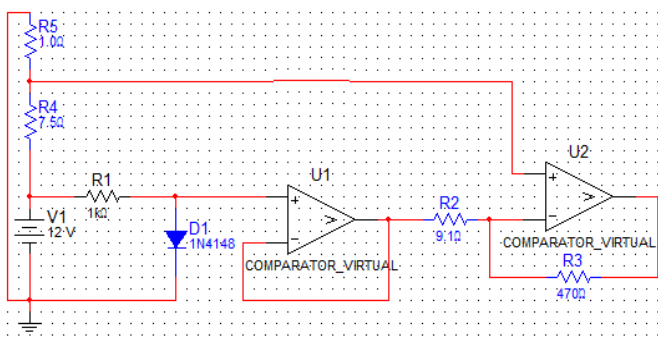


Fig. 6. Circuito sensor de temperatura com AmpOp

O amplificador com realimentação saindo do terminal negativo é chamado de buffer e foi colocado para que a resistência R2 não interfira na resistência R1 e nem na resistência do diodo.

Na fig. 7, é mostrado o circuito, já confeccionado em placa, e com um microcontrolador para realizar a conversão analógico-digital do circuito da fig. 6.

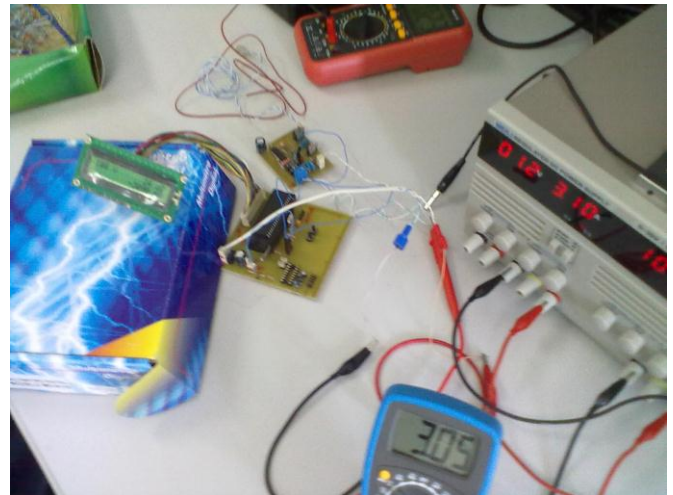


Fig. 7. Circuito sensor de temperatura com AmpOp

IV. RESULTADOS

Os primeiros experimentos foram de suma importância, pois ao iniciar o trabalho sobre sensores e principalmente os estudos de materiais semicondutores existia uma preocupação, pois a teoria mostra que a relação entre tensão e corrente nestes materiais geralmente geram uma exponencial. Por isso os testes foram realizados em cinco diodos iguais para verificar se o comportamento deles seriam idênticos para as mesmas condições e os experimentos confirmaram essa hipótese para alguns valores de resistências, mesmo com uma tolerância grande (5%) por parte dos resistores.

A segunda preocupação também foi aliviada pela terceira experiência onde a temperatura variava, porque os dados colhidos mostraram que existia uma relação linear para aquele intervalo medido que foi de 8°C até 52°C, mas esta relação de linearidade não ocorreu com todas as resistências. Após a realização de diversos experimentos, detectou-se um comportamento linear quando a resistência for entre os valores de 10kΩ e 22kΩ.

A seguir é mostrado o código-fonte para um microcontrolador PIC, o 18F4550, que converte e processa o sinal da saída do circuito do AmpOp.

```
// LCD module connections
sbit LCD_RS at RD2_bit;
sbit LCD_EN at RD3_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;
```

```
sbit LCD_RS_Direction at TRISD2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
// End LCD module connections
```

```
unsigned short int ConvTemp(unsigned int *C){
    *C *=46;
```

[1] Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho, que usam realimentação para controle de suas características. Ele possui duas entradas uma inversora (-) e outra não-inversora (+). O sinal na saída V_{out} , é igual à um ganho A multiplicado pela diferença entre as tensões nas entradas inversora e não inversora, $V_{out} = A (V_{+} - V_{-})$.

[2] Buffer é um amplificador de ganho unitário usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de saída a uma carga de baixa impedância de entrada.

```

*C +=10227;
*C/=1023; //1023
}
////////////////////////////////////
void main() {
  unsigned int sinal;
  unsigned short temp;
  int a;
  int ad;
  bit rserial;
  unsigned long int media = 0;
  char s[15];
  ADCON1=0b00001011; //canal ad0 ate ad3
  ADCON2=0b00111010; //TAD = 20 e uso clk externo div32
  //Port A
  trisa =0b00001111;
  porta=0b000001111;
  //Port B
  trisb = 0b00000000;
  portb = 0b00000000;
  //Port C
  trisc = 0b11000000;
  portc = 0b11000000;
  //Port D
  trisd = 0b00000000;
  portd = 0b00000000;
  //Port E
  trise.f0=1;
  porte.f0=1;
  trise.f1=1;
  porte.f1=1;

  ADC_Init();
  LCD_Init();
  Delay_ms(100);
  LCD_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
  while(1){
    sinal=ADC_Get_Sample(0);
    ConvTemp(&sinal);
    t=sinal;
    ByteToStr(t,s);
    LCD_Out(1,15,"oC");
    Delay_ms(1000);
  }
}

```

V. CONCLUSÃO

Como os experimentos mostram o diodo pode ser utilizado como um sensor de temperatura no intervalo que foi medido. Mas para que estas informações sejam processadas e interpretadas elas precisam ser transformadas em sinais digitais para isso é necessário um dispositivo eletrônico chamado de conversor AD que é o próximo passo para o sensor de temperatura utilizando o diodo, mas antes os sinais de saída precisam estar num intervalo de zero a cinco volts que para um circuito eletrônico significa desligado ou ligado e como a tensão de saída do diodo é muito baixo ele precisa ser amplificado além de decrescer com o aumento da temperatura o sinal também deve mudar sua inclinação. É bom lembrar que existem sensores de temperatura a venda no mercado e que também existem circuitos integrados capazes de interpretar valores de temperatura numa faixa muito maior do que apresentada neste relatório, mas diferentes destes dispositivos o custo deste circuito é muito menor e é de fácil montagem, pois todos os componentes da montagem são fáceis de achar além de garantir uma relação direta de tensão e temperatura. Este sensor pode ser utilizado em projetos que necessitem de monitoramento de uma pequena faixa como, por exemplo, a temperatura de uma sala, edifício, de uma granja ou ate mesmo de uma estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (EXEMPLOS)

- [1] *LM 324. Datasheet.*
- [2] *SANTOS, C. R. B. . Simulador didático para aplicações com amplificadores operacionais. Revista Eletrônica Total, v. 142, p. 34-37, 2010.*
- [3] *SANTOS, C. R. B. . Aquecedor de água com ajuste de temperatura. Revista Eletrônica Total, v. 144, p. 30-33, 2010.*
- [4] *SANTOS, C. R. B. ; CAMARGOS, A. F. P. ; Lima, J. F. . Uma proposta de uso de softwares educativos como suporte às aulas laboratoriais de cursos tecnológicos. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2010, Fortaleza. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2010.*
- [5] *SANTOS, C. R. B. . Simulador didático para aplicações com Divisor de tensão. Revista Eletrônica Total, v. 142, p. 31-33, 2010.*

[1] Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho, que usam realimentação para controle de suas características. Ele possui duas entradas uma inversora (-) e outra não-inversora (+).O sinal na saídaVout, é igual à um ganho A multiplicado pela diferença entre as tensões nas entradas inversora e não inversora, $V_{out} = A (V_{+} - V_{-})$.

[2] Buffer é um amplificador de ganho unitário usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de saída a uma carga de baixa impedância de entrada.