

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS
CENTRO POLITÉCNICO
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
DISCIPLINA DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA

Termômetro Digital

Desenvolvido por
Luciano Lettnin

Relatório Final da Disciplina de
Instrumentação Eletrônica
<http://olaria.ucpel.tche.br/ie2013>

Pelotas, 5 de Julho de 2013

1. Introdução

Este relatório apresenta o desenvolvimento do instrumento de medição proposto para esta disciplina no semestre 2013/1.

Como atividade de avaliação, foi proposto pelo Professor Adenauer Yamin, o desenvolvimento de um instrumento de medição. O instrumento a ser desenvolvido foi de livre escolha dos alunos apartir de uma lista oferecida pelo professor bem como qualquer outro que pudesse ser implementado durante o transcorrer do semestre, sempre aplicando os conhecimentos adquiridos nas aulas desta disciplina.

Para o meu trabalho, escolhi o Termômetro Digital que utiliza como sensor base o circuito integrado **LM35**. Um dos motivos por esta escolha foi a sua larga utilização em sensoriamentos, pela facilidade de disponibilidade no mercado, pelo valor de mercado e para uma futura utilização deste tipo de sensorimento para o controle de temperatura em aviários, pois os frangos de corte necessitam de um ambiente climatizado para o seu crescimento, evitando assim perdas por variações de temperatura, tanto com temperaturas muito baixas (inverno) ou temperaturas muito altas (verão). Esta futura utilização deste sensor dependerá do seu comportamento durante os testes realizados.

2. Princípio de Funcionamento

O sensor base utilizado para o instrumento é o circuito integrado **LM35** da **National Semiconductor**. O **LM35** é um sensor de temperatura de precisão, cujo sinal de saída (em tensão) é linearmente proporcional à temperatura. A vantagem do **LM35** é que é um circuito integrado de baixo custo, com baixa impedância de saída e que não necessita calibração externa. A resposta do **LM35** é em tensão e é de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Na **figura 1**, apresento o circuito integrado **LM35** utilizado como sensor base.

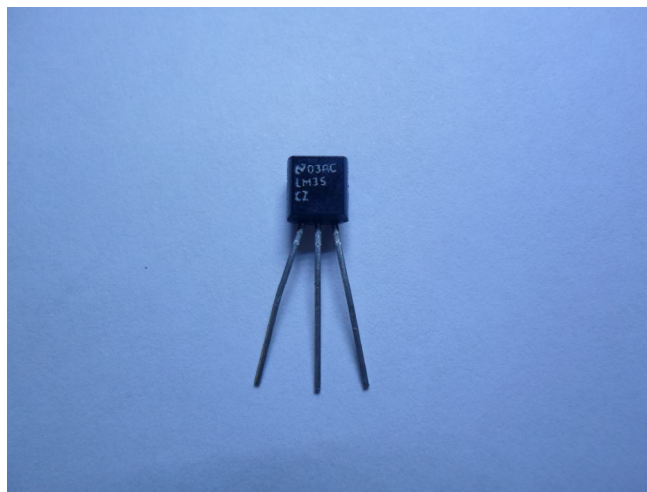


Figura 1 – CI LM35

2.1. Características do CI LM35:

- Calibrado diretamente em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$);
- Linear $10,0 \text{ mV} / ^{\circ}\text{C}$ (fator de escala);
- Precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$ (a 25°C);
- Faixa de Operação de -55°C até 150°C ;
- Adequado para aplicações remotas;
- Baixo custo / Não necessita de calibração no circuito;
- Alimentação de 4V a 30V;
- Corrente de dreno menor que $60 \mu\text{A}$;
- Baixo auto-aquecimento, $0,08^{\circ}\text{C}$ em ar ambiente;
- Baixa impedância de saída ($0,1 \text{ Ohm}$ por 1 mA de carga).

2.2. Diagrama esquemático:

Na **figura 2**, apresento o diagrama esquemático da placa confeccionada que recebe o sinal do circuito integrado **LM35**, amplifica este valor e envia para a placa de aquisição CD2000. Este projeto foi desenvolvido no software Eagle 6.4.0.

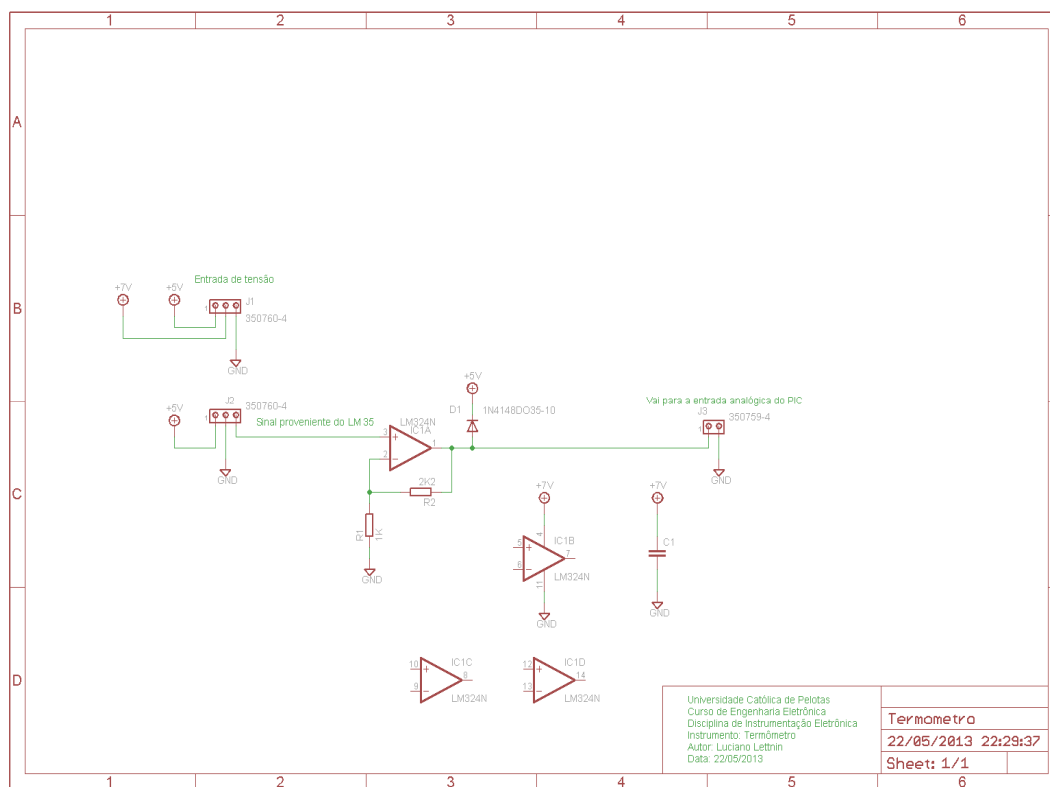


Figura 2 - Diagrama esquemático – Termômetro Digital

3. Comportamento do Instrumento

Para este instrumento, o sinal em tensão do **LM35** será amplificado para que possamos melhorar o desempenho do circuito, pois a tensão de saída máxima do **LM35** é 1.5V, isso para 150°C, porém, o PIC permite um sinal de entrada de até 5V, então para melhorar a precisão, o sinal será amplificado. Nas linhas abaixo, apresento os cálculos.

O ganho do amplificador deve ser V_S/V_E (V_S =tensão de saída e V_E =tensão de entrada), ou seja:

$$AV = 5V/1,5V$$

$$AV = 3,33.$$

A próxima etapa é o dimensionamento dos resistores do amplificador. Como a configuração da etapa amplificadora é não inversora, a equação é:

$AV = 1+(R_2/R_1)$ (esta denominação dos componentes está associada ao esquemático acima);

$$3,3 = 1+(R_2/1000) \text{ (resistor de } 1 \text{ K}\Omega \text{ escolhido aleatoriamente)}$$

$$R_2 = 2333 \text{ K}\Omega.$$

Como este valor encontrado não é um valor comercial, usaremos um resistor de $2k2\Omega$ que nos proporcionará uma tensão de saída máxima de 4,8V.

Com os valores definidos, o novo ganho ficará:

$$AV = 1+(2200/1000)$$

$$AV = 1+2,2$$

$$AV = 3,2.$$

Para proteger a entrada do conversor A/D de tensões maiores de 5 volts, pois o circuito de amplificação neste caso é alimentado com 7 Volts, a saída do amplificador operacional possui um diodo ligado a 5 volts. Com isto, garantimos que não haverá tensão maior que 5 volts na entrada do conversor. Uma possível saturação da saída do amplificador operacional já poderia danificar a entrada do conversor A/D.

3.1. Placa de Circuito Impresso

Após definidos os valores dos componentes, a placa foi roteada e confeccionada conforme a **figura 3a e 3b** respectivamente:

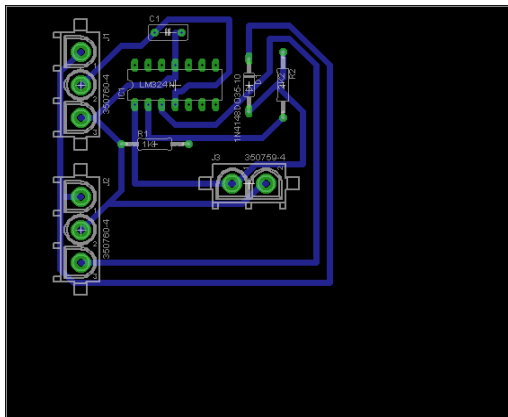


Figura 3a – Máscara para corrosão

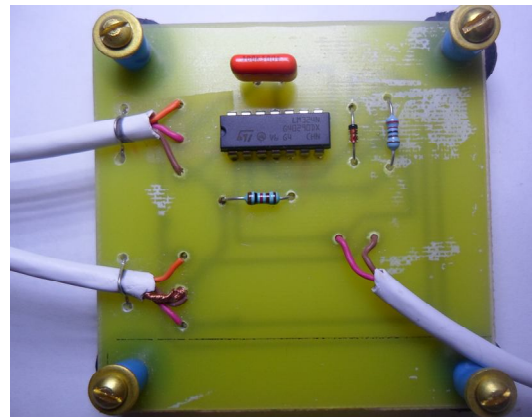


Figura 3b – Placa montada

Para ilustrar o funcionamento do circuito montado, serão apresentadas algumas figuras nas páginas seguintes.

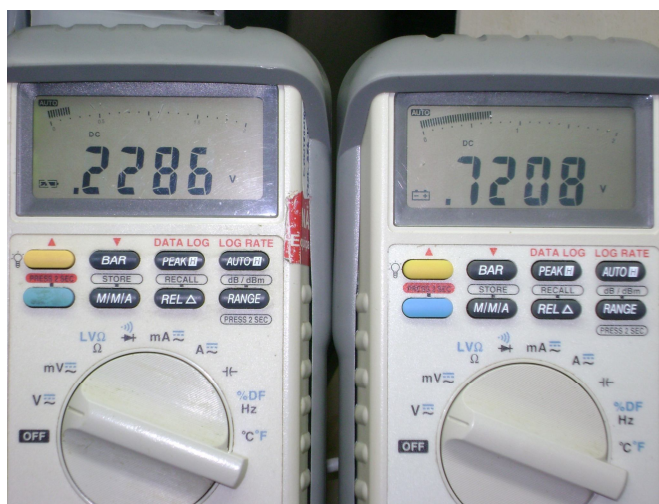


Figura 4 – Multímetro da esquerda mostrando o valor (tensão) diretamente no pino do CI LM35 e Multímetro da direita mostrando o valor (tensão) após etapa de amplificação.

Na **figura 4**, temos dois multímetros, o da esquerda está medindo a saída do **LM35** e o da direita está medindo a saída da tensão após a etapa de amplificação, ou seja, na saída do amplificador operacional. Como podemos observar, o valor lido na saída do **LM35** é de 0,2286V que corresponde a 22,8°C conforme a relação de linearidade (10mV/°C). O Valor lido na saída amplificada é de 0,7208V. Este valor é 3,15 vezes o valor da entrada, portanto, o circuito de amplificação está funcionando conforme projetado.

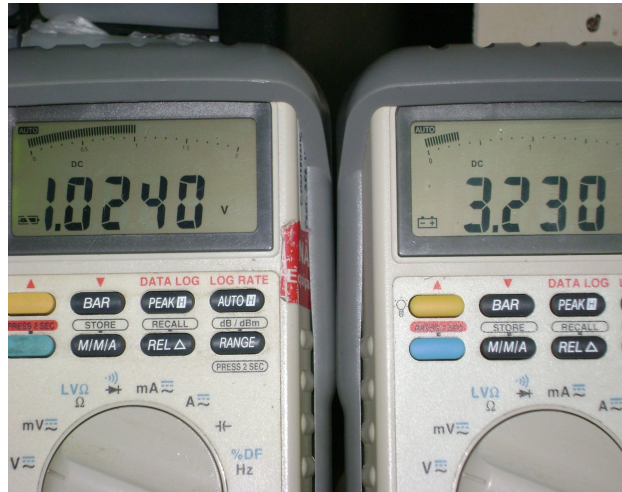


Figura 5 – Multímetro da esquerda com medição direto no pino do CI LM35 e o da direita com leitura após etapa de amplificação.

Mais uma imagem (**figura 5**) para ilustrar o funcionamento do circuito. Novamente o sinal amplificado é 3,15 vezes do valor da entrada. Com isto, podemos comprovar que o circuito funciona tanto em valores de temperatura ambiente como em valores mais altos de temperatura e demonstra que a amplificação também se mantém constante.

Estas medições foram todas realizadas com multímetros calibrados conforme pode ser observado na imagem abaixo:



Figura 6 - Multímetro calibrado.

Na **figura 6** podemos observar que as medições foram realizadas com multímetros calibrados e dentro da validade do certificado de calibração conforme a etiqueta anexada nos mesmos.

3.2. Software Customizado

Para poder realizar a medição dos valores de temperatura através da placa de aquisição de dados CD2000, foi disponibilizado um software customizado pela Patrícia. Este software foi desenvolvido no Builder 6 e sofreu algumas alterações para poder ser utilizado na medição de temperatura com o CI LM35.

Na **figura 7**, apresento a placa de aquisição de dados CD2000 da empresa ScioTronic (empresa parceira) que faz a interface de comunicação entre a placa com o circuito de medição da temperatura e o computador através da comunicação serial.

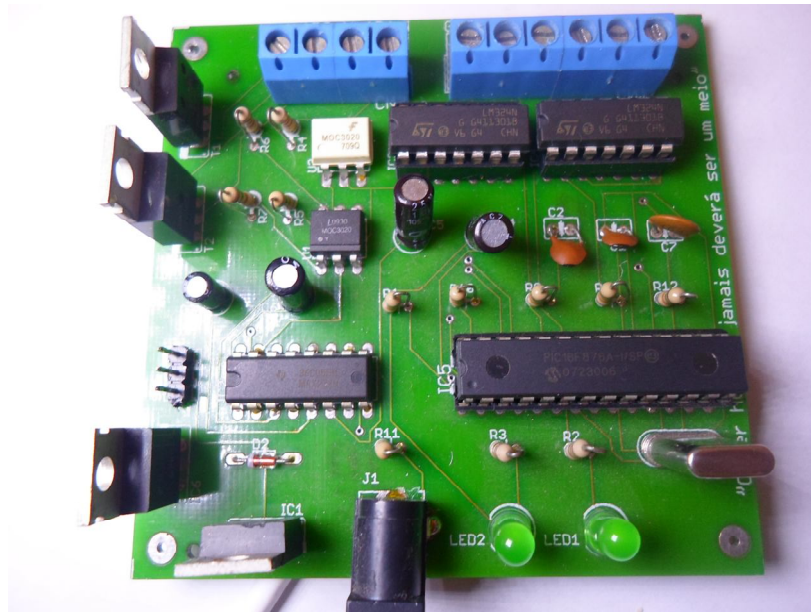


Figura 7 – Placa de aquisição de dados CD2000 - SCOTRONIC

Nas **figuras 8 e 9**, apresento as telas do software customizado que plota o valor da temperatura lido pelo CI LM35.

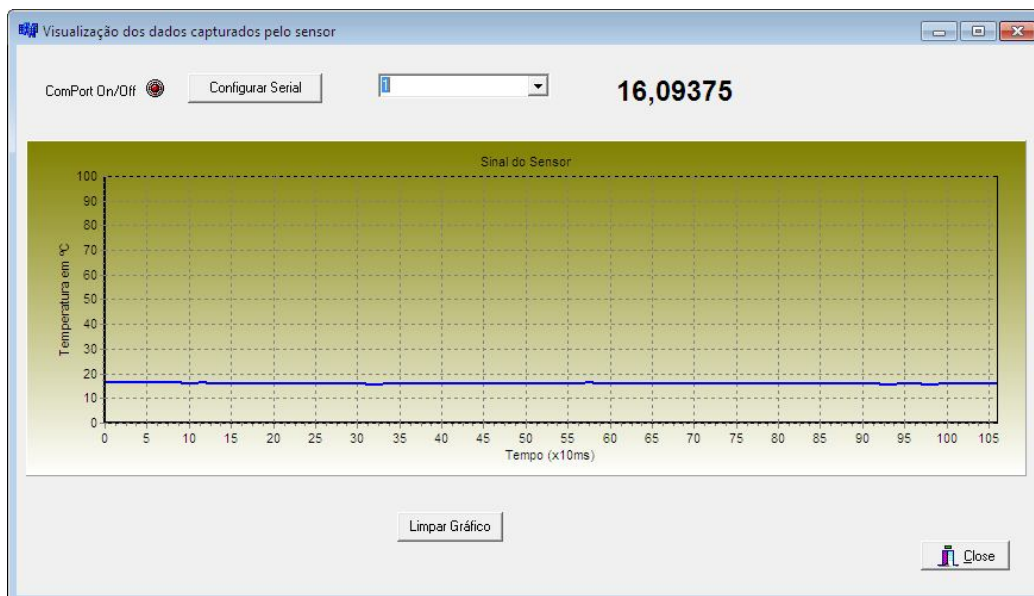


Figura 8 - Tela do software com 106 aquisições.

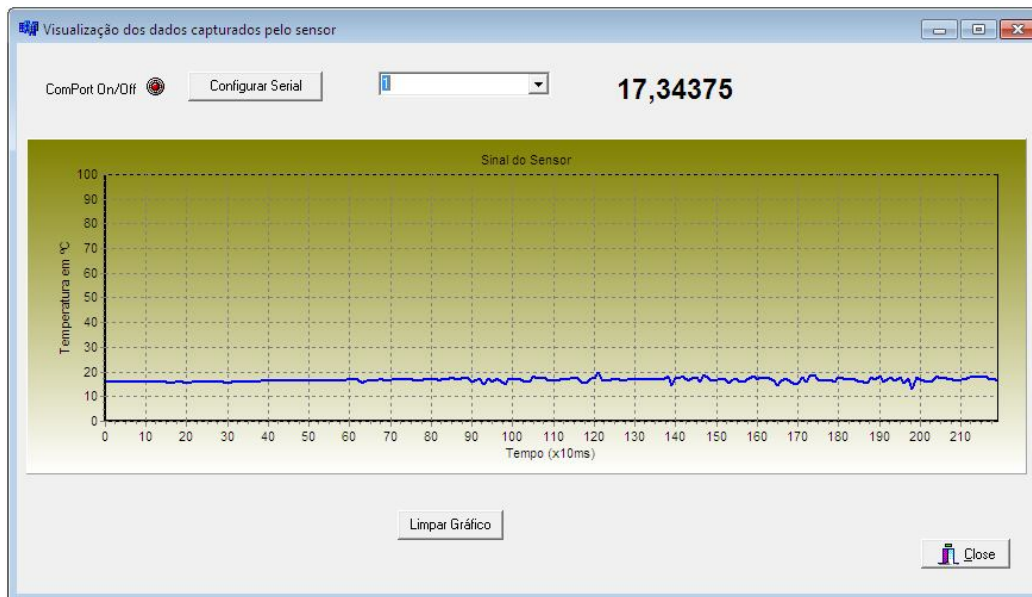


Figura 9 - Tela com mais de 210 aquisições.

3.3. Validação

Para fins de validação, foi utilizado um multímetro, um termohigromêtro e o software customizado. Nas próximas figuras, apresento o método utilizado para validar o instrumento desenvolvido.

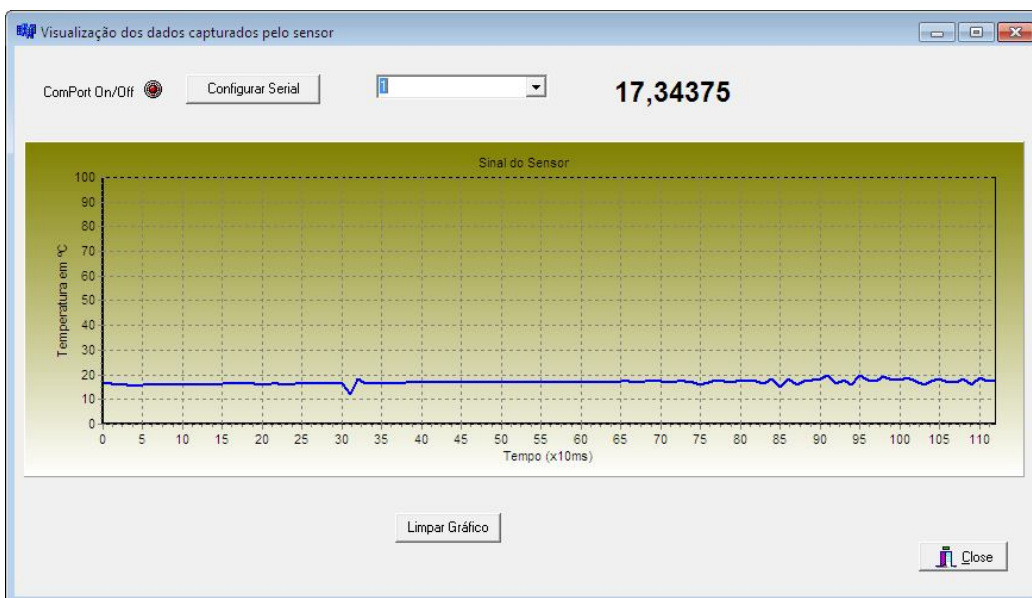


Figura 10 - Tela de aquisição durante a validação.

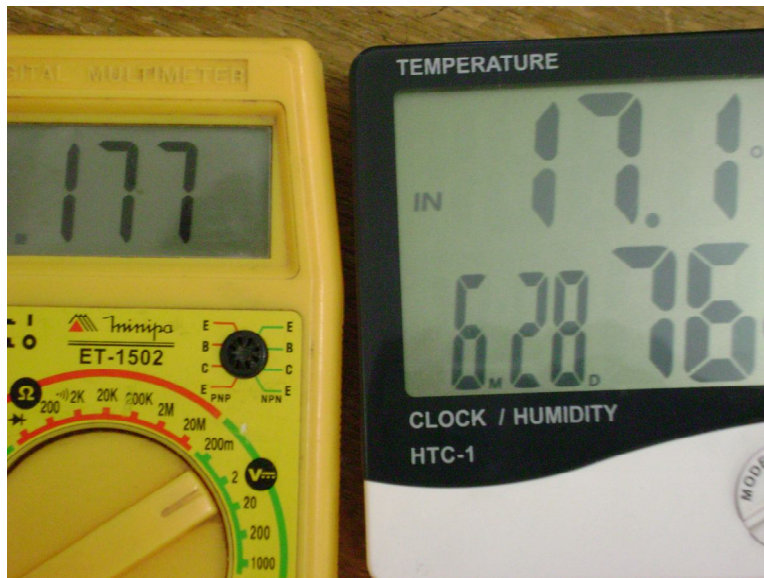


Figura 11 - Multímetro e Termo-Higrômetro utilizados durante a validação.

Para poder validar as medições realizadas pelo instrumento desenvolvido e o valor apresentado na tela de aquisição do software customizado, foi realizado a medição da tensão diretamente no pino do **LM35** com um multímetro conforme pode ser observado na **figura 11** e foi utilizado como contra prova um termo-higrômetro, que também pode ser observado na mesma figura anterior. É possível observar uma diferença de $0,6^{\circ}\text{C}$ entre estes dois instrumentos. Vale ressaltar que o termo-higrômetro não é calibrado. Já em relação à tela de aquisição, o valor lido no mesmo instante da figura acima é de $17,34^{\circ}\text{C}$. Considerando a precisão de resposta do próprio **LM35** ($0,5^{\circ}\text{C}$ na temperatura ambiente de 25°C) e dos componentes utilizados (2% e 5%), estes valores são completamente aceitáveis, ou seja, podemos afirmar que este valor apresentado na tela do software é válido e está de acordo com os valores esperados.

4. Dificuldades encontradas

Durante os testes realizados com a placa de aquisição CD2000, algumas incidências de ruído foram verificadas em algumas destas placas de aquisição. O ruído mais indesejado foi da rede elétrica (60 Hz), proveniente da fonte de alimentação. Este ruído causava uma oscilação na aquisição dos valores, fazendo com que os valores apresentados no software customizado sofressem uma grande oscilação entre uma aquisição e outra, conforme podemos observar na **figura 12** mesmo que a temperatura não sofresse alteração significativa. Nesta figura é possível observar as oscilações apresentadas através do gráfico.

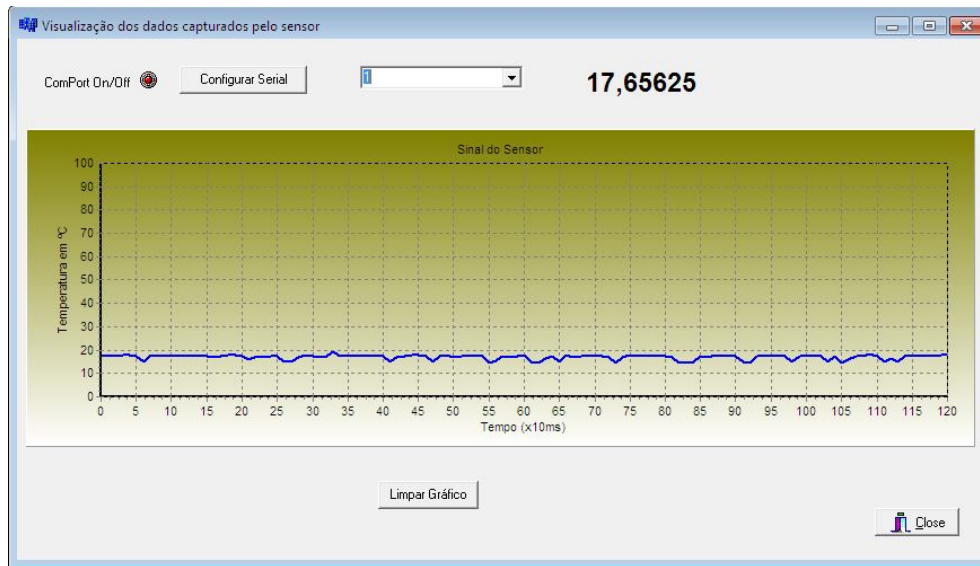


Figura 12 – Tela com oscilação na aquisição proveniente de ruído elétrico.

Uma maneira de amenizar o problema foi a de utilizar outra placa de aquisição de dados do mesmo modelo, porém de lote de fabricação diferente. Além desta troca da placa de aquisição, o circuito também passou a ser alimentado por uma bateria de 12 volts em vez de se utilizar a fonte chaveada. Com estas alterações, as oscilações foram praticamente nulas, conforme podemos observar **na figura 13**.

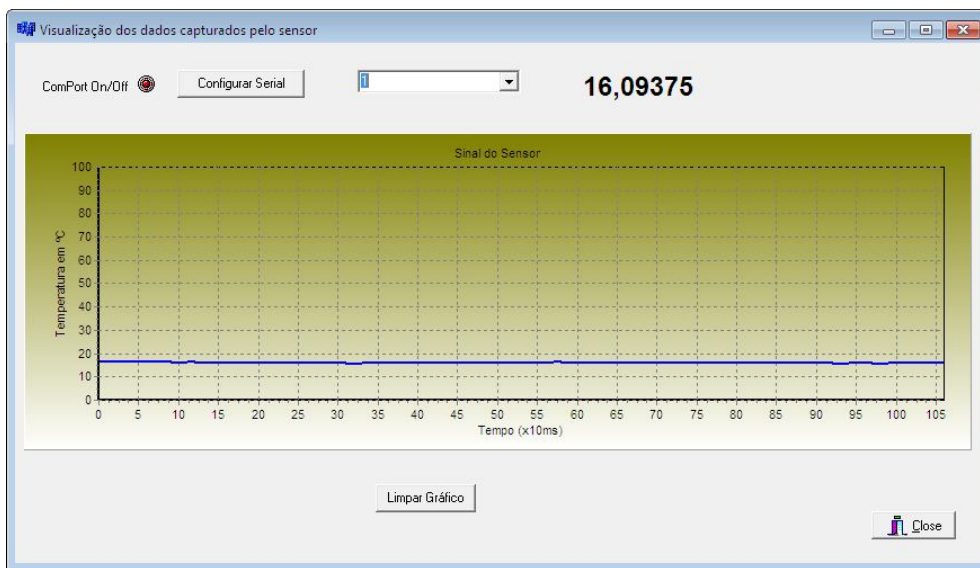


Figura 13 – Tela com outra placa de aquisição e alimentada com uma bateria de 12V.

Na **figura 14**, temos uma tela capturada do gráfico do software customizado, onde é possível ver a variação da temperatura sem oscilações quando o sensor é submetido a um aquecimento através de um ferro de solda. Realizando este mesmo procedimento, porém com a placa de aquisição de dados com oscilação e alimentada com a fonte chaveada, esta variação de temperatura ocorria com muita oscilação, de forma que quanto

maior fosse a temperatura, maior era a diferença entre os valores lidos, chegando esta diferença em até 10 °C entre as leituras.



Figura 14 – Variação linear da temperatura.

5. Conclusão

Podemos concluir que o circuito apresentado neste relatório, funciona e que o sensor responde conforme as especificações do datasheet do fabricante. Ficou evidente que o circuito sofre com a incidência de ruído, seja ele da rede elétrica (60Hz) proveniente da fonte chaveada como outros ruídos provenientes do local de instalação que podem ser captados pelo cabo que alimenta o sensor em função do comprimento empregado desde a placa de amplificação até o sensor. Estes ruídos podem ser de máquinas elétricas, estações de rádio, estações radio base de celular, entre outros. Mas mesmo assim, se torna uma boa opção de uso, visto a sua facilidade de empregabilidade, seu baixo custo, disponibilidade no mercado e a simplicidade de circuitos utilizados para tratar os sinais recebidos pelo CI **LM35**.