

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE SINAIS DE SENSORES UTILIZADOS EM APLICAÇÕES AUTOMOTIVAS

Rafael Silva Godoy ¹; Wânderson de Oliveira Assis ²; Hugo da Silva Bernardes Gonçalves ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema que permita monitorar remotamente informações de sensores utilizados em veículos automotores e aplicações relacionadas. Para isso será desenvolvido um hardware com sistema microprocessado que permita monitorar os sinais, recebe-los numa placa de circuito eletrônico, bem como transmiti-los por meio de uma rede Ethernet. Assim, essas informações poderão ser monitoradas por longas distâncias, portanto podendo ser obtidas remotamente utilizando página disponível na Web, em tempo real.*

Introdução

Os sensores são vitais no funcionamento das indústrias, pois cada etapa de uma máquina precisa ser cuidadosamente monitorada para assegurar a segurança do operador e a qualidade do produto final.

De forma genérica, o sensor é um dispositivo que responde a estímulos físicos/químicos ou variações com efeito correspondente e transmite um impulso (mensurável ou operante).

Em aplicações industriais as variáveis e faixa de valores tipicamente adotados são padronizados e compreendem tipicamente:

- sensores analógicos com tensões de 0 a 5 V, 0 a 10 V ou -10 a + 10 V;
- sensores digitais com tensões de 0 e 5 V ou 0 e 10 V;
- sensores analógicos com correntes de 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA;
- sensores digitais com pulsos de 0 e 5 V ou 0 e 10 V, com frequência variável.

Assim, o desenvolvimento de aplicativos que permitam monitorar sinais dos diversos tipos de sensores, certamente, pode contribuir para a implementação de estratégias de monitoramento e controle em aplicações industriais, tais como as realizadas no Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia bem como em diversos projetos de pesquisa (ASSIS *et al.*, 2016) (ASSIS *et al.*, 2012) (ASSIS *et al.*, 2014) (FERNANDES *et al.*, 2011) (FERNANDES *et al.*, 2010).

Há mais de 40 anos desenvolvendo tecnologia para resolver problemas específicos da indústria, o Centro de Pesquisas coleciona sucesso graças à sinérgica atuação de experientes engenheiros e de destacados professores do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. As pesquisas são realizadas em conjunto, aplicando pesquisa técnico-científica para atender às necessidades específicas do cliente.

Uma boa parte dos serviços prestados pelo Centro de Pesquisas é direcionada para aplicações da área automotiva e incluem:

- pesquisa tecnológica aplicada;
- desenvolvimento de produtos, processos, protótipos, equipamentos, instalações e sistemas;
- ensaios, testes, calibrações, análises, pareceres, certificações e peritagens;

O monitoramento de sinais e coleta de dados é essencial em muitas das atividades realizadas, mas nem sempre dispondo de sistemas de aquisição de dados ou equipamentos para monitoramento e registro das informações. Assim, o desenvolvimento de aplicativos e

hardware específico que permita o monitoramento de sinais é essencial, sobretudo em aplicações da área automotiva.

Diante do exposto, neste trabalho pretende-se avaliar as principais contribuições que um sistema de aquisição de dados (ASSIS *et al.*, 2009) poderia trazer para as pesquisas e atividades realizadas no Centro de Pesquisa e a partir deste estudo, definir uma estratégia para desenvolver e criar um sistema de aquisição de dados para monitorar variáveis de veículos automotores de forma que o aplicativo contribua para a melhor qualidade dos serviços prestados.

Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um sistema de aquisição de dados incluindo hardware e software, para monitorar, com relativa precisão, variáveis importantes de veículos automotores, incluindo:

- estudo de aplicações automotivas, de forma a definir as principais contribuições que um sistema de aquisição de dados poderia trazer para as atividades, realizadas no Centro de Pesquisas;
- projeto e realização de um sistema de aquisição de dados, que permita monitorar sinais de diversos sensores, utilizando sistema microprocessado e transmiti-los, para computador utilizando módulo de Ethernet;
- desenvolver uma interface acessível, remotamente, pela Internet que permita o monitoramento dos sinais em tempo real além do registro histórico dos dados coletados, os quais podem ser monitorados graficamente ou por meio de arquivos compatíveis com outros softwares, de forma que os dados possam ser avaliados posteriormente.
- desenvolver um sistema de fácil interação com usuário e que, realmente, contribua para as pesquisas realizadas, no Centro de Pesquisas, possibilitando a criação de sistemas capazes de serem monitorados e controlados pela Web.

Materiais e Métodos

Para a construção do sistema de monitoramento do sinal do sensor, foram utilizados os seguintes dispositivos:

- **Arduino Duemilanove** – Arduino Duemilanove é uma plataforma de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR (Atmega328) a qual possui 14 pinos de entrada e saída digital e 6 entradas analógicas. É o dispositivo no qual será realizada programação embarcada para captar os sinais dos sensores realizando a conversão analógica - digital.
- **Arduino Ethernet Shield 2** – O Shield permite conectar o Arduino na Internet através do chip Wiznet W55500 quem contém um IP e é capaz de realizar conexões TCP e UDP.
- **Componentes eletrônicos diversos.**
- **Sensor de Temperatura e Umidade HMT 130** – É um sensor que consegue medir a temperatura, Umidade relativa, umidade absoluta, pressão de vapor e pressão de vapor de saturação.

- **Sensor de Pressão UNIK 5000** – É um sensor com ampla gama de precisão com atuação em ambientes extremos, usado em automotores, aplicações aeronáuticas, aplicações marinhas abaixo da água e hidráulicas industriais.

- **Sensor de Pressão RPT 200** (Figura 1) – É um sensor de pressão de precisão com aplicações em ambientes industrial, aeroespacial, de óleo, gás e pesquisa. O sensor mede variações de pressão entre 0 -70 bar absoluta. Sua resposta é em frequência com tempo de resposta de no máximo 300 ms (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2010).



Figura 1 – RPT 200 Barometric Pressure Sensing Platform
Fonte: GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2010

A Figura 2 ilustra o diagrama esquemático do sistema de monitoramento de variáveis de sensores o qual pretende-se desenvolver no projeto.

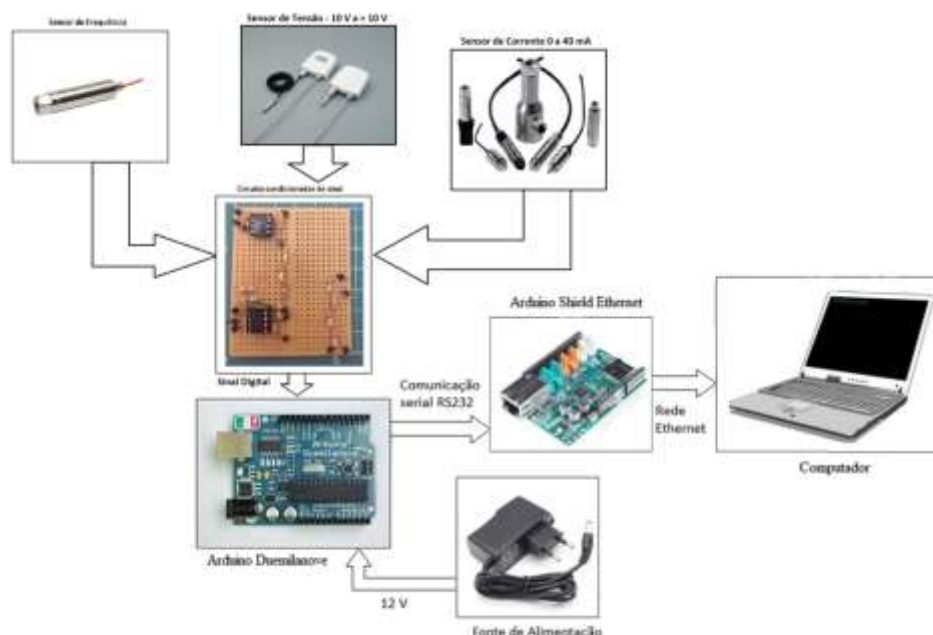


Figura 2 – Diagrama esquemático do Sistema de Monitoramento Remoto de Sensores

Os seguintes softwares foram utilizados durante o projeto:

- **Arduino** - Aplicativo em C++ que consiste no ambiente de programação, compilação e gravação do Arduino Duemilanove, usado para a aquisição dos sinais dos sensores.
- **LabVIEW** – Software utilizado na criação da interface para monitoramento dos sinais; por meio desse software, é possível corrigir e converter os dados recebidos bem como estabelecer a conexão TCP-IP.

Nas próximas seções serão detalhados os projetos e testes realizados.

Desenvolvimento

Para desenvolver o sistema, três etapas foram necessárias:

- criar circuitos de condicionamento de sinal, para monitorar sinais de sensores analógicos de corrente, sensores analógicos de tensão e sensores digitais em frequência; a proposta é que os circuitos desenvolvidos permitam converter as variáveis medidas em níveis de tensão de 0 a 5 V de forma que possam ser monitoradas em entradas analógicas ou digitais compatíveis com o Arduino;
- desenvolver um código para capturar os diferentes tipos de sinais e transmiti-los pela conexão TCP-IP;
- desenvolver algoritmo em software LabVIEW® para coletar os dados recebidos e trata-los para sua exibição na interface para o usuário, além de armazená-las em um gráfico, de forma praticamente instantânea.

Estas etapas estão detalhadas nesta seção.

a) Circuitos de condicionamento de sinal

O Arduino possui algumas limitações físicas para seu funcionamento, dentre elas o suporte de tensão na faixa de 0 V até 5 V e o suporte de corrente na faixa de 0 mA até 50 mA.

Para respeitar essas limitações foi necessário adaptar alguns sinais dos sensores para essas condições visto que na norma industrial estes limites são superados.

-Sensor de frequência

Por se tratar de uma sequência de pulsos quadrados de *duty cycle* 50%, o Arduino enxerga o sinal com metade da sua amplitude, logo, para esse caso específico, o Arduino consegue ler um sinal de 0 V até 10 V, o que não fez necessário criar um circuito para diminuir a tensão.

Contudo, uma opção de fácil implementação é o circuito com acoplador óptico apresentado a seguir, o qual produz tensões de saída limitadas na faixa de 0 a 5 V, independente da faixa de valores da tensão de entrada digital (pulsos de 0 e 5 V ou 0 e 10 V).

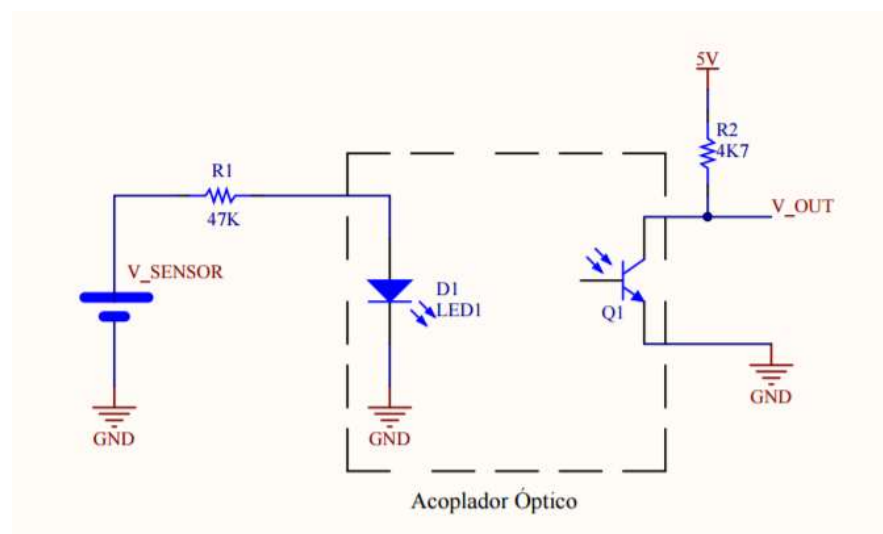


Figura 3 – Circuito de Condicionamento de Sinal para Sensor de Frequência

O circuito produz tensão de saída limitada a aproximadamente 5 V, pois a escolha dos resistores garante a saturação do fototransistor, quer seja com tensão de entrada de 10 V ou 5 V, fazendo com que a medição, obtida em V_{OUT} , mantenha-se em aproximadamente 5 V.

O circuito de acoplamento óptico garante uma tensão de saída digital de aproximadamente 0 V quando a entrada apresenta nível lógico 1 na entrada (independente da tensão utilizada de 10 V ou 5 V). Por outro lado, quando a entrada apresenta valor de 0 V, a saída é limitada a 5 V.

A contagem de pulsos foi realizada por programação utilizando a biblioteca *FreqCounter*, que, através de interrupções, mede o tempo de nível alto do sinal a partir de uma borda de subida.

- Sensor de Tensão

Para converter os níveis de tensão dos seus valores máximos, segundo as normas industriais [-10 a 10] V para tensões compatíveis com o Arduino [0 a 5] V foi desenvolvido o circuito ilustrado na Figura 4.

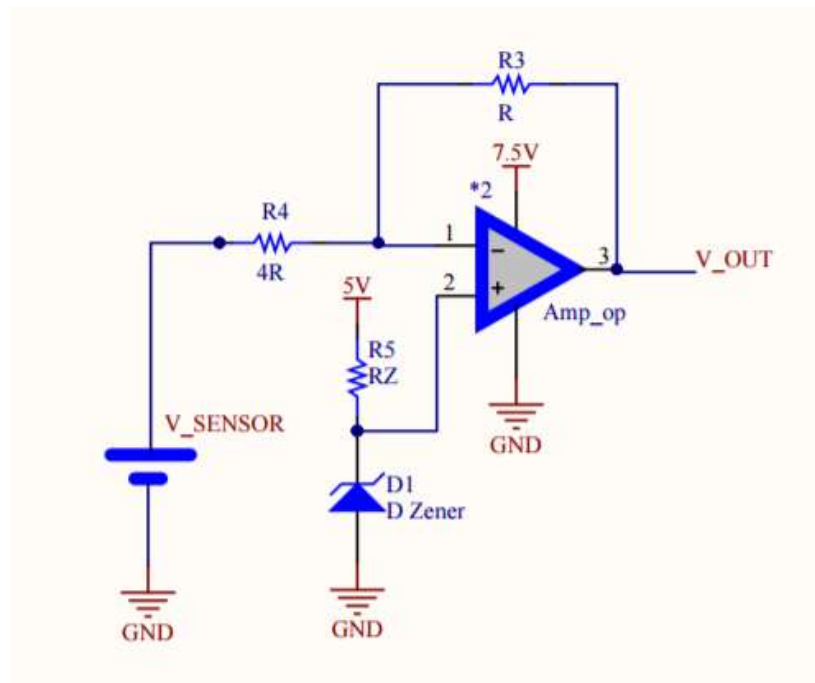


Figura 4 – Circuito de Condicionamento de Sinal para Sensor de Tensão

Trata-se de um circuito amplificador em configuração inversora utilizando amplificador operacional unipolar *rail to rail* (LM358N) na configuração. O diodo zener garante uma queda de tensão constante de 2 V na entrada não inversora do amplificador operacional, e como consequência, devido ao conceito de curto-circuito virtual, praticamente a mesma tensão também na entrada inversora. Como resultado, a tensão de saída do circuito da Figura 4 pode ser calculada por:

$$V_{OUT} = \frac{-R2}{R1} * V_{sensor} + Vref * \left(\frac{R1+R2}{R1}\right) \quad (1)$$

onde: V_{out} é a tensão de saída do circuito com o sinal já condicionado, V_{sensor} é a tensão de saída do sensor nos parâmetros industriais e o V_{ref} é a tensão de 2 V, obtida sobre o diodo zener da Figura 4, para subir o *offset* do sinal de saída;

Observa-se que, se a tensão no sensor é de +10 V, resulta em tensão de saída no circuito de 0 V. Se a tensão no sensor é de -10 V, resulta em tensão de saída no circuito de 5 V.

O Arduino disponibiliza 10 bits para a leitura do sinal de tensão em sua entrada analógica fazendo com que sua resolução seja de 4,88 mV/bit. Associando com o ganho do circuito da Figura 4, obtém-se:

$$\text{Resolução (sensor tensão)} = \frac{(5-0)V}{2^{10} \cdot 4} = 1,2207 \text{ mV/bit} \quad (2)$$

- Sensor de Corrente

O circuito de condicionamento de sinal para medição no sensor de corrente (Figura 5) considera a utilização de um amplificador operacional em configuração de um buffer, bem como a medição da corrente indiretamente por meio da queda de tensão em um resistor. Os dados de tensão são convertidos, por meio de códigos, para suas respectivas correntes.

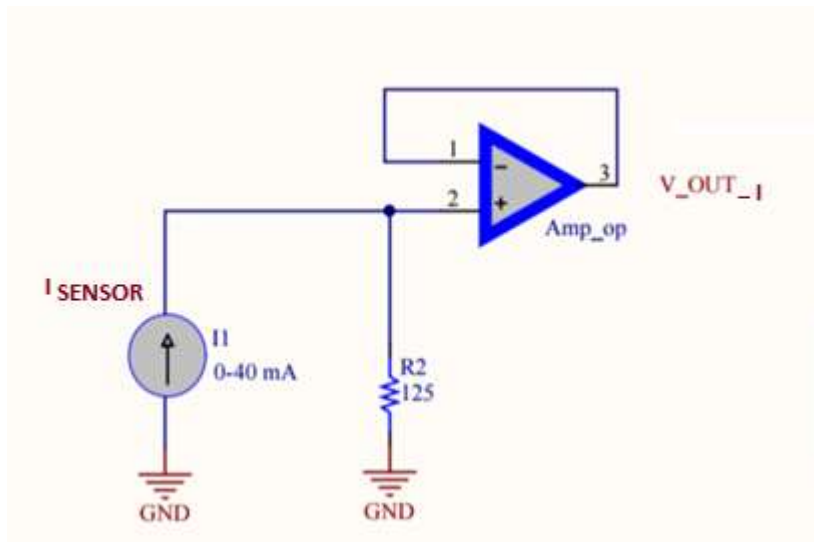


Figura 5 – Circuito de Condicionamento de Sinal para Sensor de Corrente

O valor da tensão medida pelo Arduino em entrada analógica pode ser calculada por:

$$V_{out_I} = R2 \cdot I_{sensor} \quad (3)$$

onde V_{out} é o sinal de saída do circuito de condicionamento de sinal e I_{sensor} é o sinal de corrente produzido no sensor.

Considerando também que a leitura é obtida por meio de conversor A/D de 10 bits resulta em resolução de 4,88 mV/bit, a qual, convertendo por um fator resistivo de 125 Ω , a resolução se torna de 0,039 mA/bit.

$$\text{Resolução (sensor corrente)} = \frac{(5-0)V}{2^{10} \cdot 125} = 0,039 \text{ mA/bit} \quad (4)$$

b) Obtenção dos sinais e Conexão TCP-IP

Depois de obtidos os sinais, foi estabelecido uma conexão TCP-IP entre o Arduino e o computador. Para isso, optamos por fazer do Arduino o servidor e os computadores e outros aparelhos que teriam acesso aos dados como cliente. Nesta etapa houve um problema, pois a empresa que fornece a Internet para o Instituto Mauá de Tecnologia (Linktel) impõe muitas restrições para o acesso à rede, de forma que era necessário um procedimento de *login* além de ser necessário que o usuário esteja dentro do espaço do Instituto para se conectar. Para a validação dos testes, conectamos tudo por cabos de rede através de um Hub.

c) Tratamento e Exibição das informações

Para o tratamento das medições de pulsos produzidos no sensor de frequência foi necessário um algoritmo especial, pois se observou que devido à elevada frequência do sinal e devido ao tempo de execução de sub-rotinas, tornou-se necessário um algoritmo de calibração. O algoritmo foi ajustado a partir da realização de ensaios nos quais foram medidas as frequências por meio de equipamentos precisos. Adicionalmente observou-se que, devido à execução de rotinas da interrupção, algumas medições apresentaram variações. O problema foi praticamente eliminado por meio da aplicação de algoritmos baseados no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) os quais permitiram identificar a relação frequência x contagem de pulsos, e interpretá-la por meio de uma equação de reta, a qual teve seus parâmetros determinados pelo MMQ. Inicialmente os resultados do sistema foram aproximados por uma única reta, porém em várias faixas de trabalho o erro continuou alto, sugerindo uma não-linearidade entre o frequencímetro e o sistema. Para contornar esse problema foi necessário determinar os parâmetros em faixas diferentes de medição de frequência e para cada uma dessas faixas, ajustar com uma reta diferente, por exemplo, para sinais de 10 kHz a 20 kHz, de 20 kHz a 30 kHz, etc.

A exibição das informações é feita em tempo real e de duas formas, numérica e gráfica, sendo que na representação gráfica os dados são apresentados temporariamente por um determinado período de tempo configurável pelo usuário.

Resultados e Conclusões

O projeto foi realizado com sucesso, sendo desenvolvida uma interface em software LabVIEW® para monitorar a frequência do sensor RPT 200, bem como tensão e corrente produzidos por outros sensores. Embora nesse caso não tenham sido utilizados sensores específicos para esse fim, o sistema foi desenvolvido para monitorar variações de tensão de -10 a +10 V (para sensores industriais que apresentam essa faixa de operação), bem como variações de corrente de 0 a 40 mA (faixa de operação típica para sensores de corrente).

Por meio de circuitos condicionadores de sinal e métodos de correção implantados em código, os sinais foram obtidos com erro relativamente baixo, possibilitando assim a sua utilização no Centro de Pesquisa sem uma distorção significativa das informações.

O erro referente às medições de frequência, tensão e corrente foram calculados empiricamente com diversas amostras de sinais, e a partir de ensaios com instrumentos de medição sendo encontrado:

$$Erro(frequência) = 0,037\%$$

$$Erro(tensão) = 2,24 \%$$

$$Erro(corrente) = 0,024\%$$

Nota-se que os erros relativos à frequência e à corrente foram muito baixos, enquanto o de tensão foi considerável. Esse erro, relativamente grande, deve-se pelo erro dos componentes analógicos usados no circuito condicionador. Visto que o circuito está na configuração amplificador e que os resistores são responsáveis de determinar o fator multiplicativo, o erro dos resistores (superiores a 10%), ao ser multiplicado pelo sinal, aumenta ainda mais o erro.

A Figura 6 ilustra a utilização do sensor RPT 200 e sua conexão no sistema para medição de frequência. A Figura 7 ilustra a leitura sendo realizada por meio de osciloscópio durante os testes realizados, os quais foram comparados com os valores medidos no sistema desenvolvido para permitir determinar o erro na medição. A Figura 8 ilustra a placa com o circuito de condicionamento de sinal que permite a medição de sinais de sensores de tensão e corrente.

O projeto do circuito foi implantado de modo que os sensores sejam conectados no respectivo circuito de condicionamento de sinal, o qual converte esse sinal para níveis de tensão compatíveis com as entradas do Arduino, onde os programas para leitura das entradas e sua apresentação em uma interface foram desenvolvidos. Assim, o sistema desenvolvido pode ser usado como leitor “universal” para medição de sinais de sensores, desde que eles apresentem variações de tensão, corrente ou frequência dentro de especificações industriais.



Figura 6 – Acoplamento do sensor de frequência no Arduino.



Figura 7 – Leitura de frequência com o osciloscópio e com o programa.

As variáveis medidas são transmitidas por meio de uma conexão TCP-IP. O programa permite que o usuário veja essas informações em tempo real numa interface desenvolvida utilizando o software LabVIEW® (Figura 9), desde que o computador e o Arduino estejam conectados na mesma rede. A aplicação é de fácil interação com o usuário, sendo apenas necessário que se coloque o endereço e a porta da conexão TCP-IP para ele funcionar. Os dados são mostrados numericamente dentro de uma caixa do respectivo sinal e plotado no gráfico. Os sinais (limitados a três, mas podendo ser aumentado com ajuste no código) podem ser mostrados concomitantemente, cada um em sua respectiva caixa e com uma coloração diferente no gráfico.

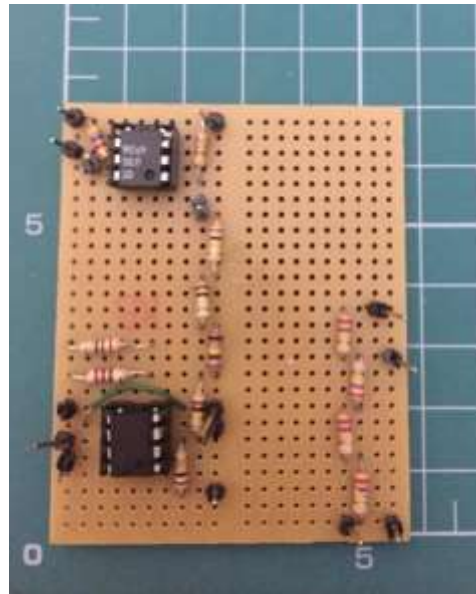


Figura 8 – Circuito condicionador de sinal para medição de tensão, frequência e corrente.

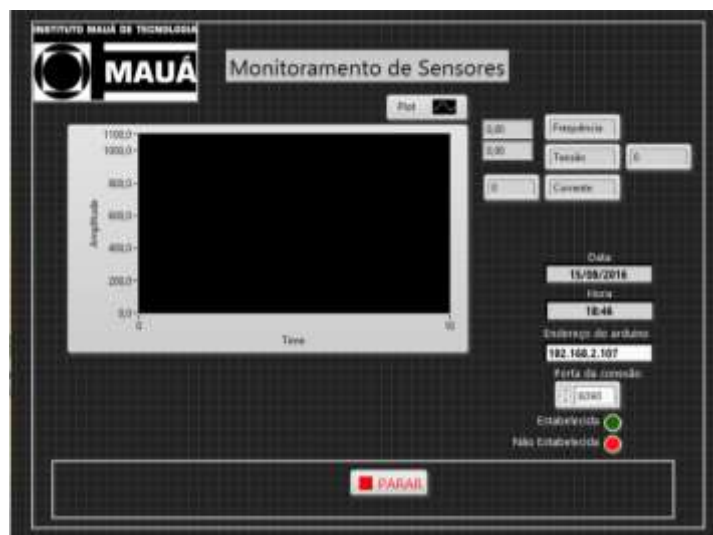


Figura 9 – Interface de interação com o usuário do programa final.

A solução desenvolvida irá certamente contribuir para os projetos e pesquisas realizados no Centro de Pesquisas possibilitando a criação de sistemas capazes de serem monitorados e controlados pela Web.

Espera-se que a pesquisa impulse outras atividades e projetos em parceria com o Centro de Pesquisas nas suas diversas áreas de atuação.

Referências Bibliográficas

ASSIS, W. O.; COELHO, A. D.; GEDRAITE, R.; MATTA, E. N.; KUNIGK, L. **“An Educational Tool With Remote Access for Teaching Modelling Control Systems for Engineering Courses”**, MSI 2014 – 6th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification, Campinas, SP, 2016.

ASSIS, W. O.; COELHO, A. D.; PACHECO, V. G.; GEDRAITE, R.; PIRES, R. C.; MATTA, **“Applying the Concept of WebLab In a Playful Way - The Electronic Engineering Hands On”**, ICSE 2014 – 2nd International Congress of Science Education, Foz do Iguaçu, PR, 2014.

ASSIS, W. O.; COELHO, A. D.; PACHECO, V. G. **“Aplicando o Conceito de WebLab de Forma Lúdica”**, SPGABC 2012 - II Simpósio de Pesquisa do Grande ABC, São Bernardo do Campo - SP, 2012.

ASSIS, W. O., COELHO, A. D., PATANÉ, E. J., LIMA, F. R. G. **“A Data Acquisition System Used in Didactic Experiences on Control System for Engineering Courses.”** Proceedings of the 9th WCCE – IFIP World Conference on Computers in Education, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2009.

FERNANDES, T., ASSIS, W. O., COELHO, A. D. **“Um WebLab para uma Planta de Controle de Nível e Temperatura”**, CONIC - SEMESP - 2011 - Congresso Nacional de Iniciação Científica, Santos - SP, 2011.

FERNANDES, T., ASSIS, W. O., COELHO, A. D. **“Implantação de um WebLab para Ensino de Controle em Cursos de Engenharia”**, SIICUSP 2010 – XVIII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, São Paulo, SP, 2010.

GENERAL ELECTRIC COMPANY **“RPS 8000 – Sensor de Pressão Ressonante de Elevada Precisão”**, GE Soluções em Medição e Controle, 2010 Disponível em https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/rps_dps_8000_datasheet_portuguese.pdf. Acesso em 28/11/2016.

GENERAL ELECTRIC COMPANY **“UNIK 5000 – Silicon Pressure Sensor”**, GE Soluções em Medição e Controle, 2010 Disponível em <https://www.gemeasurement.com/sensors-probes-transducers/pressure-transducertransmitters/unik-5000-silicon-pressure-sensor>. Acesso em 28/11/2016.

Vaisala **“HMT 130 – Humidity and Temperature Transmitters for Cleanrooms and Light Industrial Applications”**, Disponível em <http://www.vaisala.com/en/products/humidity/Pages/HMT120130.aspx>. Acesso em 28/11/2016.