

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

## **PLATAFORMA PARA CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS SENSORES PIEZORESISTIVOS<sup>1</sup>**

**Carlos Augusto Valdiero<sup>2</sup>, André Luciano Rakowski<sup>3</sup>, Luiz Antônio Rasia<sup>4</sup>, Antonio Carlos Valdiero<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Projeto de Pesquisa Institucional

<sup>2</sup> Bolsista de Iniciação Científica PIBITI/CNPq, acadêmico do curso de ciências da computação da UNIJUI. carlos\_valdiero@hotmail.com

<sup>3</sup> Bolsista Iniciação Científica PIBIC/CNPq - Ensino Médio. andreluciano.r@hotmail.com

<sup>4</sup> Orientador. Prof. Dr. Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. rasia@unijui.edu.br

<sup>5</sup> Pesquisador bolsista CNPq de Produtividade DT. Prof. Dr. Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. valdiero@unijui.edu.br

### Introdução

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um ohmímetro para medir piezoresistores de valores elevados na escala de Giga Ohms apresentando os resultados com sete casas decimais equivalentes a um instrumento digital comercial de elevado custo e geralmente importado. Foram utilizados vários circuitos divisores de tensão para fazer a comparação da resistência a ser medida usando resistências padrões conhecidas. A escala de medidas é comutada automaticamente através de relés cujo controle é executado por um algoritmo previamente definido. A leitura da tensão de saída do divisor é recebida por um microcontrolador ATMEGA em placa de prototipagem comercial o qual faz o processamento dos sinais de entrada mostrando em um display tipo LCD a média de valores encontrados para a corrente elétrica, tensão elétrica e resistência elétrica desconhecida.

O protótipo desenvolvido armazena os resultados obtidos em um cartão de memória tipo SD Card permitindo a transferência dos dados da medida para análise em outros softwares de tratamento de sinais. Este instrumento de medida é uma alternativa para caracterização de elementos sensores piezoresistivos projetados e implementados por alunos de mestrado e doutorado do Programa Strictu Sensu em Modelagem Matemática da Unijui e pelo SIMMER - Grupo de Pesquisa em Projetos de Sistemas Mecânicos, Mecatrônicos e Robóticos da UNIJUI.

Atualmente o equipamento está sendo usado para caracterização de piezoresistores de grafite e constitui um arranjo experimental adequado montado para caracterizações elétricas, térmicas e mecânicas cujo sistema final tem interface gráfica com um software desenvolvido para projeto de elementos sensores.

O instrumento final constitui uma bancada para modelagem, fabricação, caracterização e desenvolvimento de piezoresistores que vem sendo desenvolvida como alternativa de baixo custo quando comparada aos instrumentos importados atualmente em uso na pesquisa. O estado da arte na área de instrumentação não mostra nada semelhante a este projeto de pesquisa e prototipagem.

Em trabalhos futuros novas implementações são dadas ao protótipo visando aumento da precisão das medidas realizadas.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

## Metodologia

O Circuito montado consiste em usar a técnica de divisão de tensão onde se compara os valores dos resistores desconhecidos com resistores padrões. Os sinais de saída do divisor são processados pelo microcontrolador através de um algoritmo, especialmente, desenvolvido contendo as condições de restrições de leitura. A Figura 1 mostra o circuito elétrico indicando o terminal de saída do sinal de tensão para o microcontrolador.

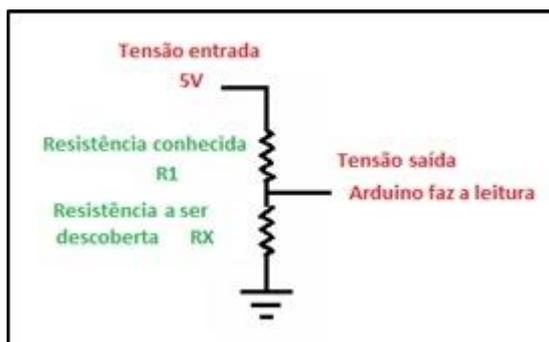


Figura 1. Circuito divisor de tensão elétrica.

Usando o circuito divisor de tensão e a Lei de Ohm dada por:

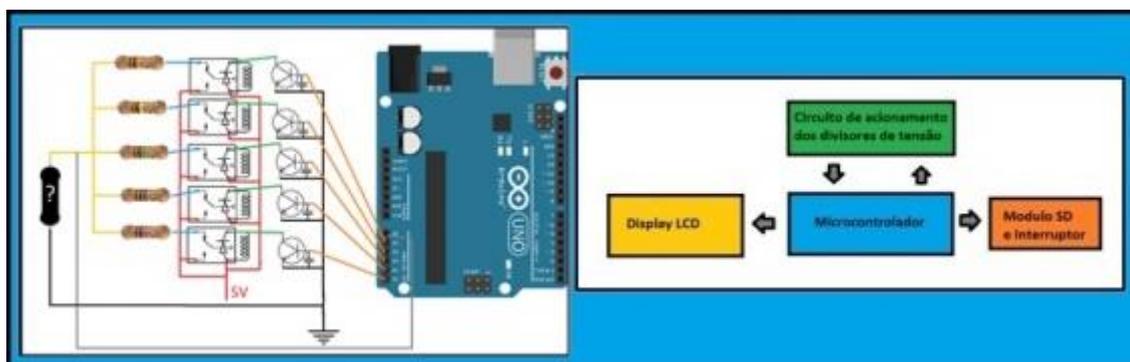
$$V=RI \quad (1)$$

e partindo do princípio de que no circuito em série todas as correntes elétricas são iguais e as tensões elétricas se somam obtém-se:

$$R_x=(V_s R_1)/(V_e-V_s) \quad (2)$$

onde,  $R_x$ , é o valor do resistor desconhecido,  $R_1$ , é o valor do resistor conhecido,  $V_s$ , é o valor da tensão de saída do divisor e,  $V_e$ , é a tensão de alimentação do circuito.

A Figura 2 ilustra o circuito esquemático desenvolvido para fazer a comparação de vários resistores de acordo com a metodologia proposta.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Figura 2. Circuito esquemático do protótipo desenvolvido.

A Figura 3 ilustra como foram feitas as ligações elétricas do mostrador de cristal líquido, LCD 16 colunas X 2 linhas.

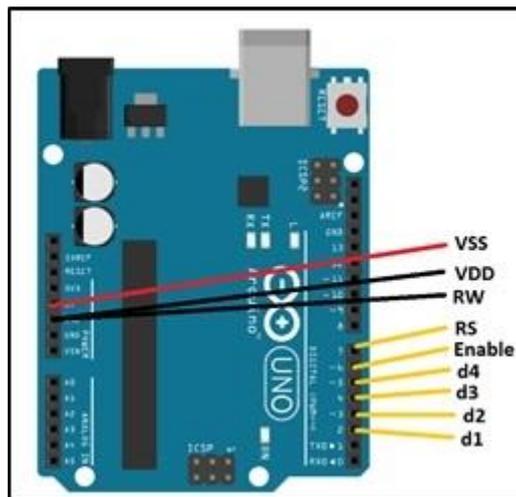


Figura 3. Ilustração das conexões do LCD no microcontrolador.

O LCD mostra as tensões de entrada e saída, as correntes do divisor de tensão e os valores dos resistores,  $R_x$ , e  $R_1$ . As conexões no Arduino UNO foram feitas utilizando as portas digitais 7, 6, 5, 4, 3 e 2, declaradas antes de iniciar o código, com o comando LiquidCrystal lcd (7, 6, 5, 4, 3, 2).

No protótipo desenvolvido foi incluído um cartão de memória tipo microSD para armazenar os dados para posterior análise, conforme ilustra a Figura 4.

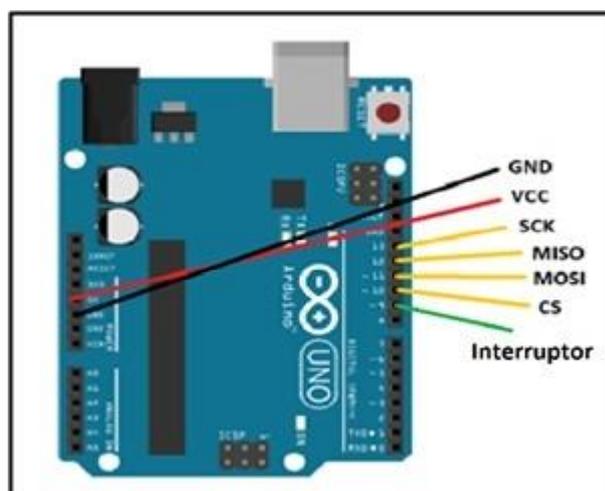


Figura 4. Ilustração das ligações do módulo SD card.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

O módulo de cartão microSD foi conectado ao microcontrolador, nas portas digitais 13,12,11 e 10. Um interruptor com LED, ligado a porta digital 9 foi incluído neste circuito para fazer o acionamento manual das gravações das medidas. Os dados só são gravados com o interruptor fechado, assim o usuário pode escolher quando quer gravar os resultados.

A Figura 5 ilustra a estrutura do código utilizado neste projeto.

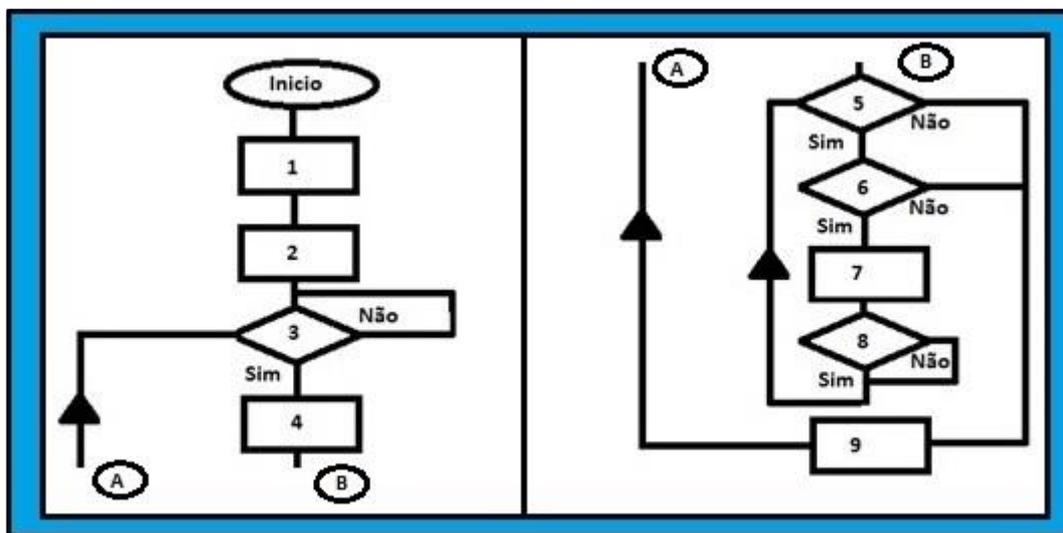


Figura 5. Fluxograma funcional do código implementado no microcontrolador.

Basicamente o fluxograma foi estruturado em nove etapas, assim descritas:

- 1) Declaração da biblioteca do módulo SD, `#include <SD.h>`, e da biblioteca do LCD, `#include <LCD.h>` e declaração das variáveis, vetores e portas utilizadas;
- 2) Inicialização do módulo SD e declaração das portas como entrada ou saída. As portas de saída são setadas para o nível baixo;
- 3) Etapa da estrutura de repetição for para setar as portas de saída como nível alto (HIGH) ou nível baixo (LOW). Sendo que as portas e o valor das resistências conhecidas são vetores que tem como índice a variável de inicialização. Assim o número de vezes que o for repetira será o número de divisores de tensão escolhidos;
- 4) Após ligar o divisor de tensão é feita a leitura da voltagem de saída do divisor. Nesta etapa a leitura é feita em uma porta analógica e os valores lidos por ela vão de 0 a 1023, por isso é feito o cálculo:  $V_s = ((V_s \cdot 5 \text{ volts}) / 1023)$ , onde  $V_s$  é a leitura efetuada. Através desse cálculo o valor lido é convertido de 0 a 5V;
- 5) Nessa estrutura de decisão foi utilizado um `If`, para que quando os valores da voltagem de saída não forem de 0,4V a 4V pule para o passo 9;
- 6) Caso o `If` seja verdadeiro entra em mais um for, que repete por dez vezes;

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

- 7) Dentro desse for é feita a leitura da tensão de saída, o cálculo de,  $R_x$ , a leitura do interruptor e a mostrado os resultados no LCD;
- 8) Caso o interruptor esteja fechado, entrara no If e a média dos resultados encontrados no for, do passo 6, serão gravados no cartão micros;
- 9) Nesse passo o divisor de tensão ligado no momento, será desligado.

## Resultados e Discussão

Os resultados obtidos até o presente momento com o protótipo desenvolvido foram satisfatórios, sendo bem próximos dos valores disponibilizado pelo fabricante de resistores e dos medidos pelo multímetro MINIPA ET-1100 DMM. Como mostra a Figura 6.



Figura 6. Gráfico de comparação das medições.

De acordo com Malvino e Bates (2011, p.260) a tensão resultante do divisor de tensão utilizado é dada pela equação  $V_{se} = R_2 / (R_1 + R_2) V_{cc}$ , onde  $V_{se}$  é a tensão de saída e  $V_{cc}$  é a tensão de alimentação do circuito.

Utilizando essa equação, no exemplo,  $V_{se} = 10 / (10 + 10) 5$   $V_{se} = 2,5$  V, pode-se verificar que quando as duas resistências são iguais a tensão de entrada é dividida pela metade. Assim, no circuito deste trabalho, a tensão de entrada é 5V então quanto mais próximo de 2,5V a tensão de saída estiver, espera-se que mais próxima seja resistência desconhecida da conhecida. De acordo com testes realizados, quanto mais diferentes as duas resistências forem, mais impreciso é o cálculo. Para superar estes obstáculos, definiu-se que as saídas na faixa de 0,4V a 4V são as ideais para obter o resultado mais preciso das medidas do piezoresistor desconhecido.

A Figura 7 mostra uma comparação dos resultados de  $R_x$  e a tensão de saída do divisor de tensão.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

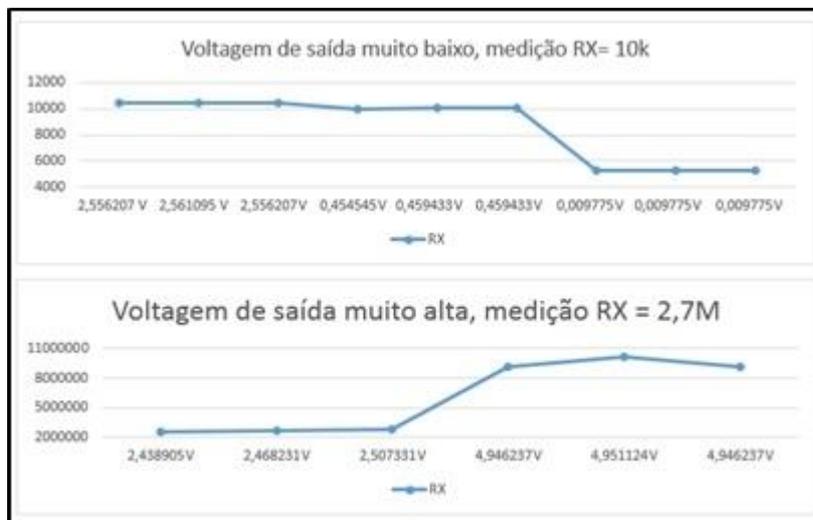


Figura 7. Análise da tensão de saída e do valor de RX.

Analisando a figura 7, verificou-se que os resultados obtidos das medições que tem a voltagem de saída muito alta ou muito baixa, são imprecisos. Portanto, obtém-se um resultado para R<sub>x</sub> muito diferente do esperado. Para resolver esse problema foi utilizado uma estrutura de seleção como ilustra o diagrama da Figura 8.



Figura 8. Diagrama da estrutura de seleção.

Um dos problemas encontrados nas medições foi a variação de tensão da entrada dos divisores de tensão, que estava causando grandes variações nas medições dos resistores, com resultados que ultrapassavam a margem de erro estipulada pelo fabricante. Em resistores onde a margem de erro era 5 % ultrapassava-se os 10 %. Para solucionar esse problema foi feita alimentação externa do circuito, mantendo a voltagem de entrada em 5 V. Observa-se que quanto mais diferente de 5 V maior o erro no cálculo da resistência. Após essa mudança as medições tiveram os resultados esperados como mostra a Figura 6.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Outro problema solucionado foi estabilizar o funcionamento do microcontrolador usando capacitores cerâmicos de desacoplamento nas portas de saída. Assim, quando elas estiverem desligadas o microcontrolador as reconhece e não deixa o sistema ficar oscilando.

#### Conclusão

O projeto apresentado cumpriu seu objetivo, permitindo fazer a leitura de grandes resistências com precisão, além de funcionar como um Ohmímetro calculando essas resistências. O protótipo possibilitou a gravação dos resultados obtidos da resistência investigada, tensão resultante e da corrente do divisor de tensão. O projeto está sendo aprimorado para que possa ter novas funcionalidades e maior precisão das medidas.

Palavras-chave: Divisores de tensão; Ohmímetro; Arduino UNO; Modulo SD; Display LCD.

#### Referências bibliográficas

MALVINO, A.; BATES, D. J. 2007. Eletrônica: Diodos, Transistores e Amplificadores. 7 Edição. Porto Alegre - RS: AMGH Editora Ltda., 2011. 427p.

ARDUINO. Arduino UNO & Genuino UNO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno#>>. Acessado em: 29 jun. 2016.