BERNARDO ROGOWSKI DOS SANTOS

BRUNO ENGELBERT

MEDIDOR DE GRANDEZA ELÉTRICA

**FLORIANÓPOLIS, 2010**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELETRÔNICOS

MEDIDOR DE GRANDEZA ELÉTRICA

Projeto Integrador submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para conclusão do Módulo III do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Eletrônicos.  
Professor Orientador: Charles Borges de Lima Dr.Eng.

BERNARDO ROGOWSKI DOS SANTOS

BRUNO ENGELBERT

**FLORIANÓPOLIS, 2010**

# RESUMO

É desenvolvido neste projeto integrador um aparelho eletrônico que mede tensão e corrente RMS da rede elétrica e envia os dados a um microcomputador e/ou um display LCD quando desejado pelo usuário. Este foi o tema escolhido pelo departamento de eletrônica como requisito para o 3º módulo do curso superior em Sistemas Eletrônicos que envolvem tanto eletrônica digital focando em microcontroladores como analógica na etapa de potência.

**Palavras-chave:**RMS. Microcontrolador, Serial.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

[Figura 1 - Diagrama de blocos do projeto. 9](#_Toc279357288)

[Figura 2 - Pinos do µC. 10](#_Toc279357289)

[Figura 3 - Condicionamento da tensão para o µC. 11](#_Toc279357290)

[Figura 4 - Condicionamento da corrente para o µC. 12](#_Toc279357291)

[Figura 5 - Contador de tempo real. 13](#_Toc279357292)

[Figura 6 - Botões de controle. 14](#_Toc279357293)

[Figura 7 - *Display* LCD. 15](#_Toc279357294)

[Figura 8 - LEDs de sinalização. 15](#_Toc279357295)

[Figura 9 - Característica do *frame*. 16](#_Toc279357296)

[Figura 10 - Desenho da PCI no *software* PROTEUS. 17](#_Toc279357297)

[Figura 11 - Visão de cima da PCI em 3D no *software* PROTEUS. 18](#_Toc279357298)

[Figura 12 - Visão de baixo da PCI em 3D no *software* PROTEUS. 18](#_Toc279357299)

[Figura 13 - Desenho final da PCI no *software* Dr.Engrave. 19](#_Toc279357300)

[Figura 14 - Foto do protótipo. 20](#_Toc279357301)

[Figura 15 - Foto em bancada do teste experimental. 21](#_Toc279357302)

[Figura 16 - Gráfico comparativo das medidas. 22](#_Toc279357303)

SUMÁRIO

[RESUMO iii](#_Toc279357345)

[LISTA DE ILUSTRAÇÕES iv](#_Toc279357346)

[1. INTRODUÇÃO 7](#_Toc279357347)

[1.1. Justificativa 7](#_Toc279357348)

[1.2. Definição do Problema 7](#_Toc279357349)

[1.3. Objetivos 8](#_Toc279357350)

[1.3.1. Objetivo Geral 8](#_Toc279357351)

[1.3.2. Objetivos Específicos 8](#_Toc279357352)

[2. ELEMENTOS DO SISTEMA 9](#_Toc279357353)

[2.1. Diagrama de Blocos 9](#_Toc279357354)

[2.2. Microcontrolador Utilizado 10](#_Toc279357355)

[2.3. Condicionamento dos sinais 10](#_Toc279357356)

[2.3.1. Leitura da Tensão Alternada 11](#_Toc279357357)

[2.3.2. Leitura da Corrente Alternada 12](#_Toc279357358)

[2.3.3. Algoritmo RMS 13](#_Toc279357359)

[2.4. Relógio de Tempo Real (RTC) 13](#_Toc279357360)

[2.5. Interface 13](#_Toc279357361)

[2.5.1. Botões de comandos 14](#_Toc279357362)

[2.5.2. *Display* LDC 14](#_Toc279357363)

[2.5.3. LEDs Sinalizadores 15](#_Toc279357364)

[2.5.4. Comunicação com Microcomputador 16](#_Toc279357365)

[3. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO 17](#_Toc279357366)

[3.1. Desenvolvimento da PCI 17](#_Toc279357367)

[3.2. Testes experimentais 20](#_Toc279357368)

[4. CRONOGRAMA 23](#_Toc279357369)

[5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 24](#_Toc279357370)

[6. REFERÊNCIAS 25](#_Toc279357371)

# INTRODUÇÃO

Neste trabalho se propõe o desenvolvimento de um medidor de grandezas elétricas que, através de um microcontrolador, efetuará o cálculo RMS em tempo real da tensão e corrente alternada da rede elétrica e apresentará ao usuário por meio de um display LCD e/ou microcomputador.

Será apresentado o projeto completo em seguintes blocos: etapa de potencia, etapa de condicionamento dos sinais adquiridos, cálculo integral que fornecerá o valor *RMS*, comando e controle do usuário e resultados obtidos.

## Justificativa

Como requisito para completar o módulo três do curso superior em Sistemas Eletrônicos, este projeto integrador traz um tema para pesquisa e aplicação que envolve os conhecimentos estudados nas matérias deste módulo assim como uma madeira alternativa de se medir a rede elétrica com o valor real ao qual a carga é submetida.

## Definição do Problema

Investigação da resposta das grandezas elétricas inseridas na rede elétrica para avaliação do comportamento das variáveis.

## Objetivos

Apresentam-se nessa seção os objetivos deste projeto integrador a serem realizados.

### Objetivo Geral

É apresentado como objetivo geral o desenvolvimento tecnológico de um aparelho eletrônico que mede grandezas elétricas envolvendo conhecimentos das áreas de eletrônica de potência e eletrônica digital.

### Objetivos Específicos

A fim de se alcançar o objetivo geral exposto acima, elaboraram-se os seguintes objetivos específicos:

* Desenvolver a leitura de tensão e corrente da rede elétrica.
* Utilizar um microcontrolador para aquisição dos dados e controle do sistema.
* Enviar a um microcomputador e um display LCD os valores mensurados.
* Fazer um relógio com data e hora.

# ELEMENTOS DO SISTEMA

Nesta seção serão apresentados os tópicos de integração do projeto completo: método para realização da leitura das grandezas elétricas no microcontrolador, contador em tempo real (RTC) e interface de comando e controle do usuário.

## Diagrama de Blocos

O projeto completo em diagrama de blocos é apresentado na Figura 1.

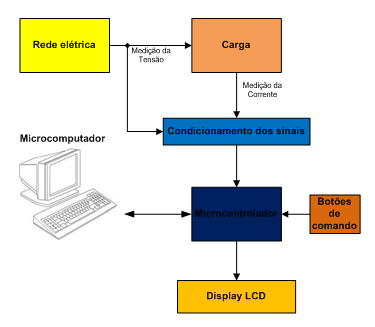


Figura - Diagrama de blocos do projeto.

Partindo da rele elétrica, são condicionados os sinais de tensão e corrente de carga que serão enviados a um microcontrolador e efetuados o cálculo RMS das variáveis.

Depois de realizado o cálculo integral, é enviado a um display LCD e ao microcomputador juntamente com a hora e data atuais. Os botões de comando controlam o envio ao microcomputador quando desejado pelo usuário.

## Microcontrolador Utilizado

O microcontrolador (µC) utilizado foi um Atmega328 da família ATMEL de 8 bits e trabalhando com cristal externo de 20 MHz que é o limite da velocidade de operação deste µC, a Figura 2apresenta a respectiva pinagem.

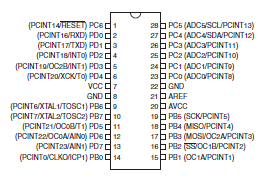


Figura - Pinos do µC.

O ambiente de desenvolvimento do *software* foi realizado em linguagem de programação *C* com a ferramenta computacional AVRStudio fornecido pelo próprio fabricante.

## Condicionamento dos Sinais

Para a leitura das variáveis, a tensão da rede e a respectiva corrente de carga conectada devem sem condicionadas para a entrada dos canais do conversor analógico digital (A/D) do µC.

A tensão de referência (Vref) utilizada do A/D foi de 5 Volts, que se enquadrou tanto para a corrente quanto para a tensão. O A/D deste µC é de 10 bits, ou seja, 1024 patamares. Partindo destes dados, pode-se calcular o valor binário do A/D para cada valor de tensão inserida através da equação abaixo:

### Leitura da Tensão Alternada

A realização da leitura da tensão alternada é apresentado no esquema elétrico da Figura 3.

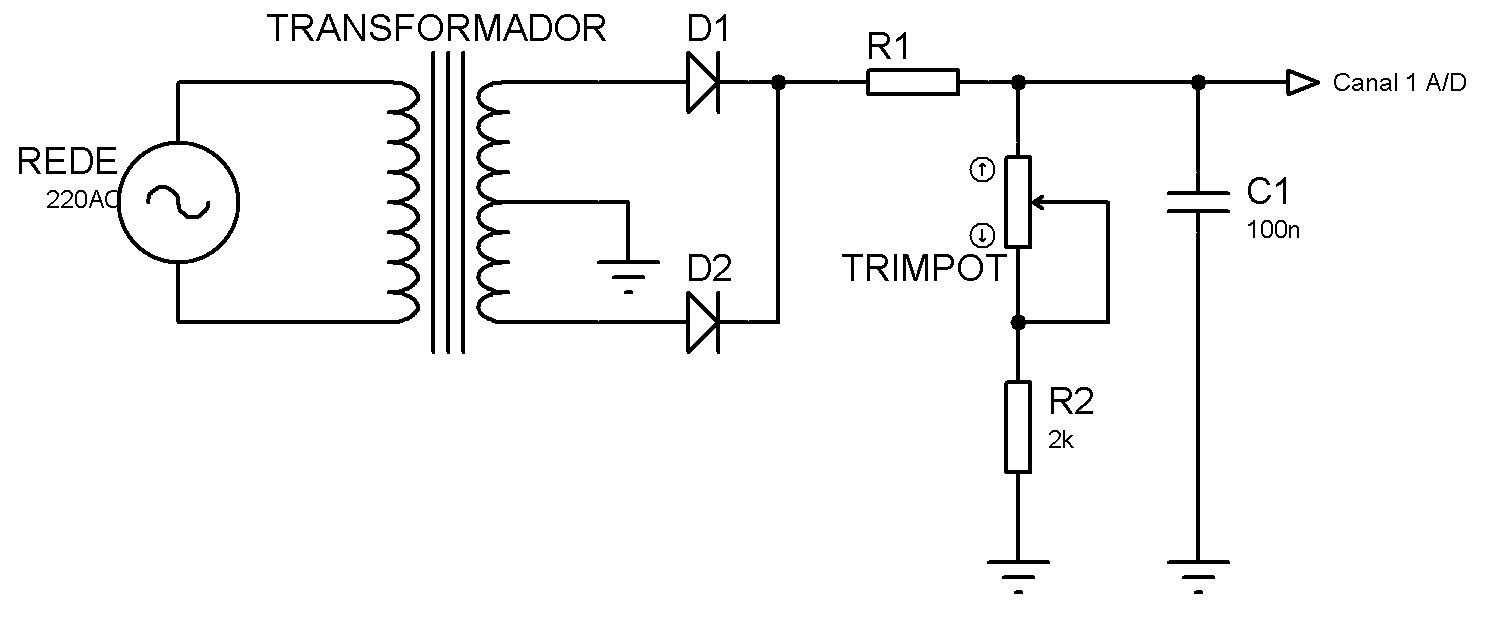


Figura - Condicionamento da tensão para o µC.

Foi optado por utilizar um transformador abaixador de tensão para isolamento e segurança para o µC.

Dois diodos retificadores fazem o papel de deixar o sinal alternado todo em *DC*, rebatendo o quadrante negativo para o positivo, porém, se perde um pouco de precisão do sinal a ser mensurado.

Um divisor resistivo com um *trimpot* calibra a entrada do sinal *DC* à entrada do A/D. A calibração se dá a partir da tensão máxima a ser medida em 5V quando a tensão da rede elétrica for 242Vef, este valor se obtém da tensão nominal 220Vef mais 10% permitidos pela oscilação da rede.

Na saída foi acrescentado um capacitor de filtro para possíveis ruídos de alta frequência e um diodo zener de proteção para limitar a tensão máxima na entrada do A/D.

### Leitura da Corrente Alternada

O esquema elétrico para a leitura da corrente é apresentado na Figura 4.

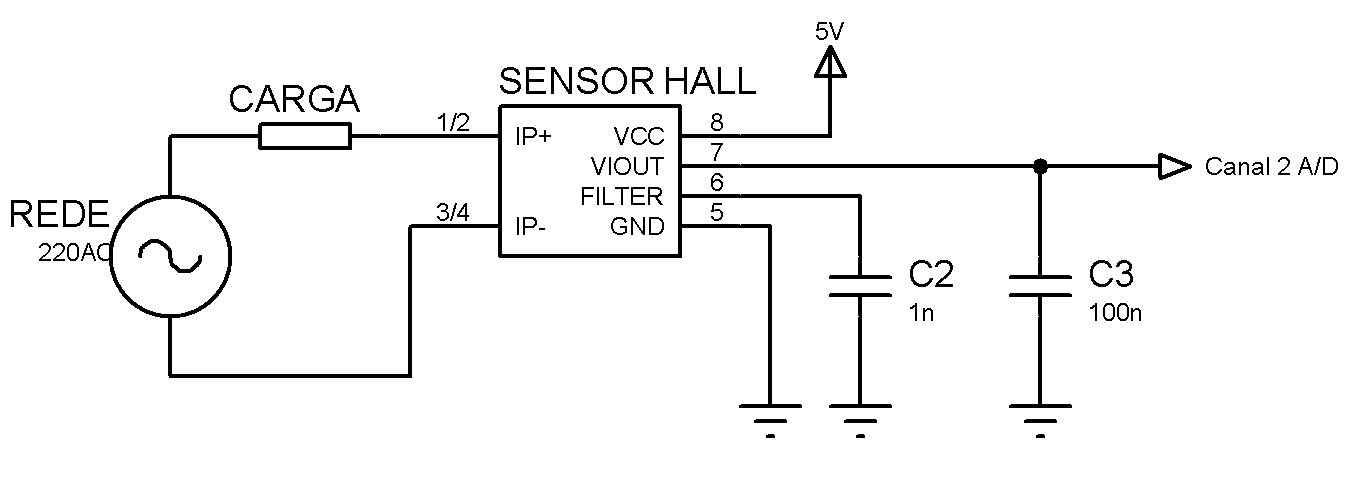


Figura - Condicionamento da corrente para o µC.

A utilização de um sensor de corrente de efeito *Hall*faz com que a potência fique isolada da etapa de sinal. Este sensor captura o campo magnético que atravessa o ramo do resistor de carga e faz a relação do sinal fornecendo num pino de saída do circuito integrado em nível DC e em um nível aceitável que se enquadra na tensão de referência do A/D dimensionada.

Na saída foi acrescentado um capacitor de filtro para possíveis ruídos de alta frequência e um diodo zener de proteção para limitar a tensão máxima na entrada do A/D.

### Algoritmo RMS

O algoritmo para calcular o valor RMS do sinal de tensão ou corrente é baseado na equação recursiva do estimador de potência do sinal, que segundo é definido como:

Onde é o número de amostras.

Para simplificar o algoritmo, assume que é grande o suficiente de tal forma que , no ponto de vista estatístico, tornando-se então:

Para finalmente calcular o RMS é preciso apenas extrair a raiz quadrada resultante do valor do estimador de potência.

Em programação C o algoritmo ficou implementado da seguinte forma:

## Relógio de Tempo Real (RTC)

Para fornecer o horário correto e gerenciar a hora e data, foi utilizado o circuito integrado DS1307 associado a um cristal de 32,768 kHz para geração de pulsos precisos. A Figura 5 representa os pinos deste componente.

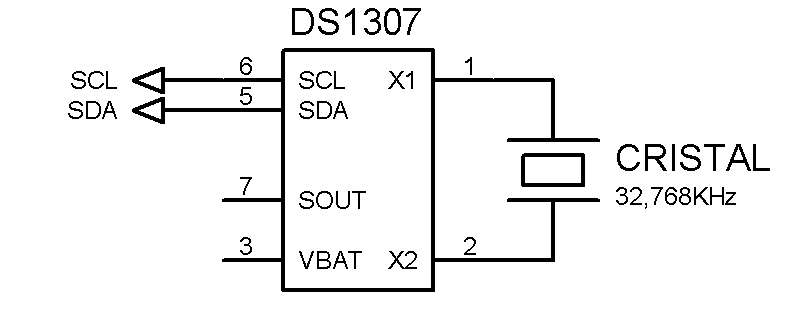


Figura - Contador de tempo real.

Este componente se comunica através do protocolo de comunicação I2C que facilmente se integra ao µC que também possui o protocolo em *hardware* de fácil desenvolvimento.

Foi acrescentada também uma bateria para alimentação deste componente que se por ventura for desligado, a hora e a data continuarão sendo atualizadas.

## Interface

Esta etapa mostra a realização da comunicação, comandos do usuário e sinalizadores de estado.

### Botões de comandos

Foram inseridos quatro botões, como representado na Figura 6, sendo que apenas um foi utilizado. O fato de quatro botões era pela sobra de pinos para se caso precisasse acrescentar mais alguma função é somente atualizar o *firmware*.

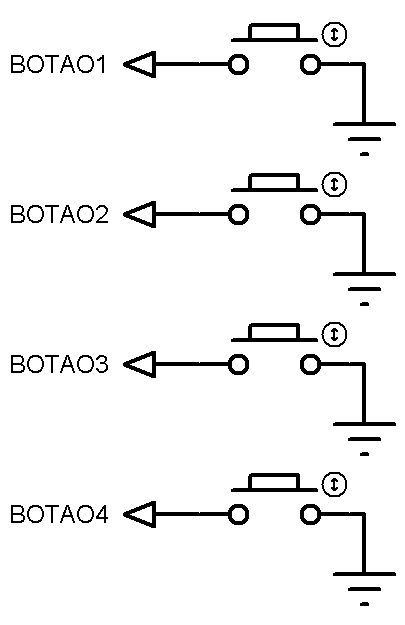


Figura - Botões de controle.

### *Display* LDC

O display utilizado foi um LCD*,* representado na Figura 7, possui dimensão de 2 linhas por 16 colunas. O envio dos dados é caractere ASCII de 8 bits, sendo que são enviados em duas parcelas de 4 bits por vez para economizar 4 pinos do µC.

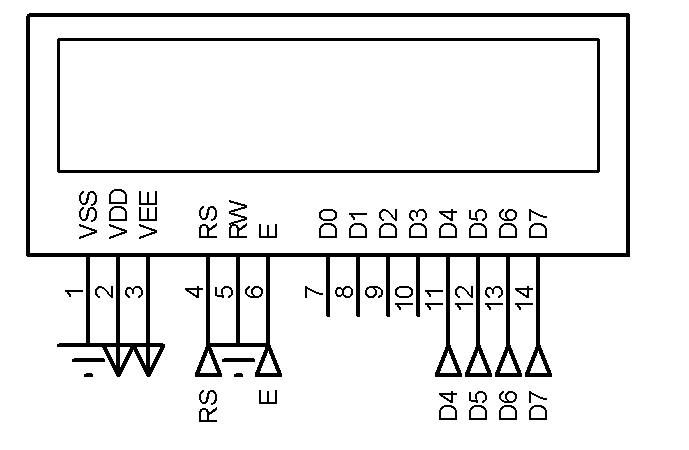


Figura - *Display* LCD.

O microcontrolador gerencia a atualização do *display* através de dois pinos de controle, o pino de *enable* (E) e o pino se são comando ou escrita (RS). Quando é realizada alguma atualização, o pino de *enable* é desativado e novamente ativado para travar a imagem no *display*.

### LEDs Sinalizadores

Foram inseridos 3LEDs sinalizadores , sendo 1 para monitorar se o sistema está respondendo corretamente, outro que mostra os pulsos de 1 segundo do RTC e outro para mostrar quando a rede elétrica está em sobre tensão ou baixa tensão.

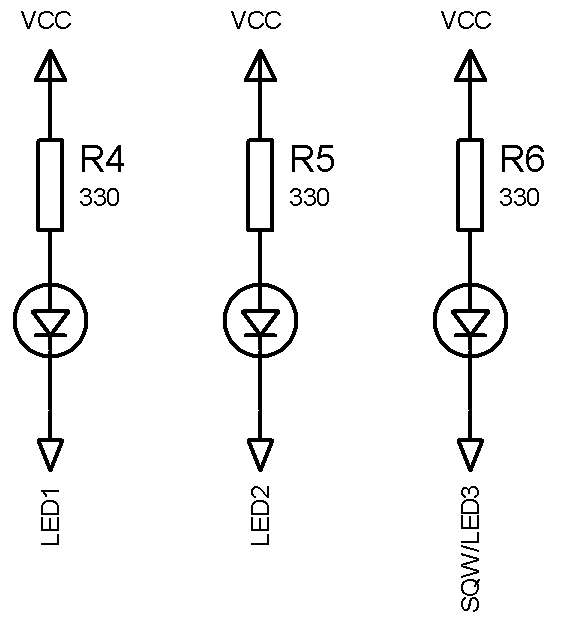


Figura - LEDs de sinalização.

### Comunicação com Microcomputador

Utiliza-se uma comunicação via cabo para a comunicação serial com o microcomputador, sendo que no lado do microcontrolador é utilizado um circuito adaptador para o padrão lógico RS-232.

Os dados são enviados pelo protocolo de comunicação USART que o µC possui internamente, configurado com velocidade de 57600bps (bits por segundo), modo normal assíncrono, 8 bits de dados, 1 bit de parada e nenhum bit de paridade.

A Figura 9apresenta a característica utilizada dos dados individuais a serem enviados em série ao computador ou um *frame*.

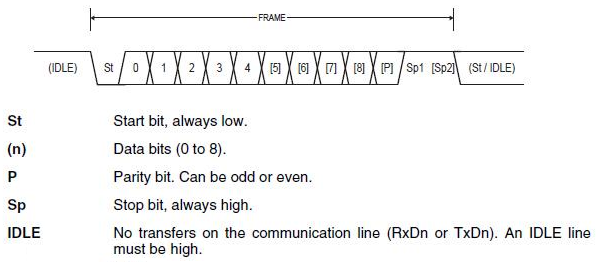


Figura - Característica do *frame*.

# CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Depois de definido todo o projeto, a definição da construção do *hardware* foi planejada e executada.

## Desenvolvimento da PCI

Partindo da ferramenta computacional PROTEUS, o desenho da placa foi implementado como pode ser observado na Figura 10abaixo.

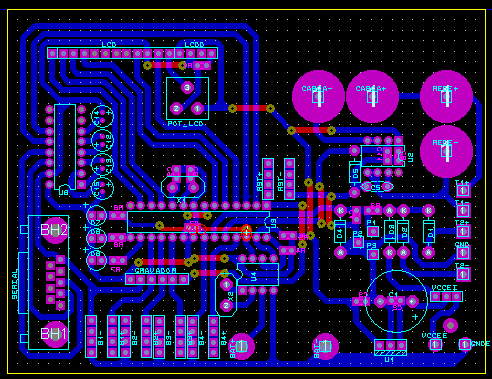


Figura - Desenho da PCI no *software* PROTEUS.

Alguns componentes não tinham seu desenho e estrutura no *software*, então foram realizados espaçamentos com barra de pinos para o tamanho dos componentes que já tínhamos em mãos.

A Figura 11e a Figura 12apresentam a previsão do desenho da PCI em 3D para se obter uma melhor abstração de como seria o protótipo final.

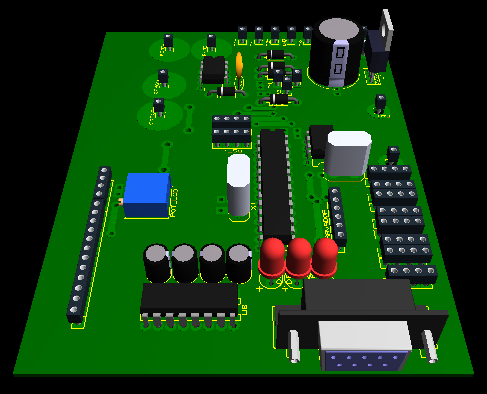


Figura - Visão de cima da PCI em 3D no *software* PROTEUS.

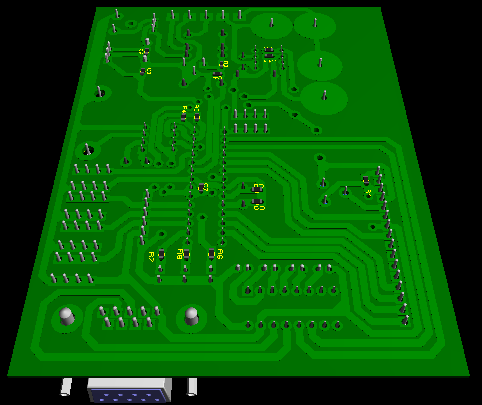


Figura - Visão de baixo da PCI em 3D no *software* PROTEUS.

O método de corrosão utilizado foi utilizando uma fresadora disponível no departamento de eletrônica, sendo preciso utilizar um segundo *software* de desenho, importando o arquivo do tipo DXF,Figura 13.

Nesta etapa é que a malha de terra foi acrescentada, apagando-se as trilhas do GND outrora construídas. Este método, de colocar a malha no final, foi escolhido por que no processo de conversão em formato DXF, é demasiadamente demorado, perdendo-se muito tempo pelo mesmo resultado.

Importante, antes de partir à corrosão, é o espelhamento do desenho e não colocá-lo com os eixos X e Y em zero, pois quando a broca da fresadora passar na região das extremidades, esta pode se perder e não efetuar com êxito a corrosão. Outro ponto importante é o dimensionamento das trilhas, como a broca elimina parcela delas de ambos os lados, a previsão de uma trilha um pouco maior e aumento das ilhas é bastante importante.

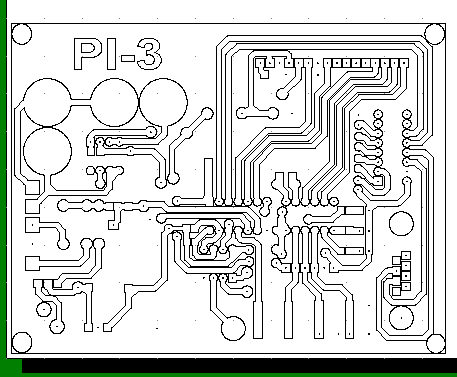


Figura - Desenho final da PCI no *software*Dr.Engrave.

## Testes experimentais

Após a corrosão e soldagem dos componentes, a placa está pronta para ser testada. A Figura 14apresenta a foto do protótipo pronto para teste.

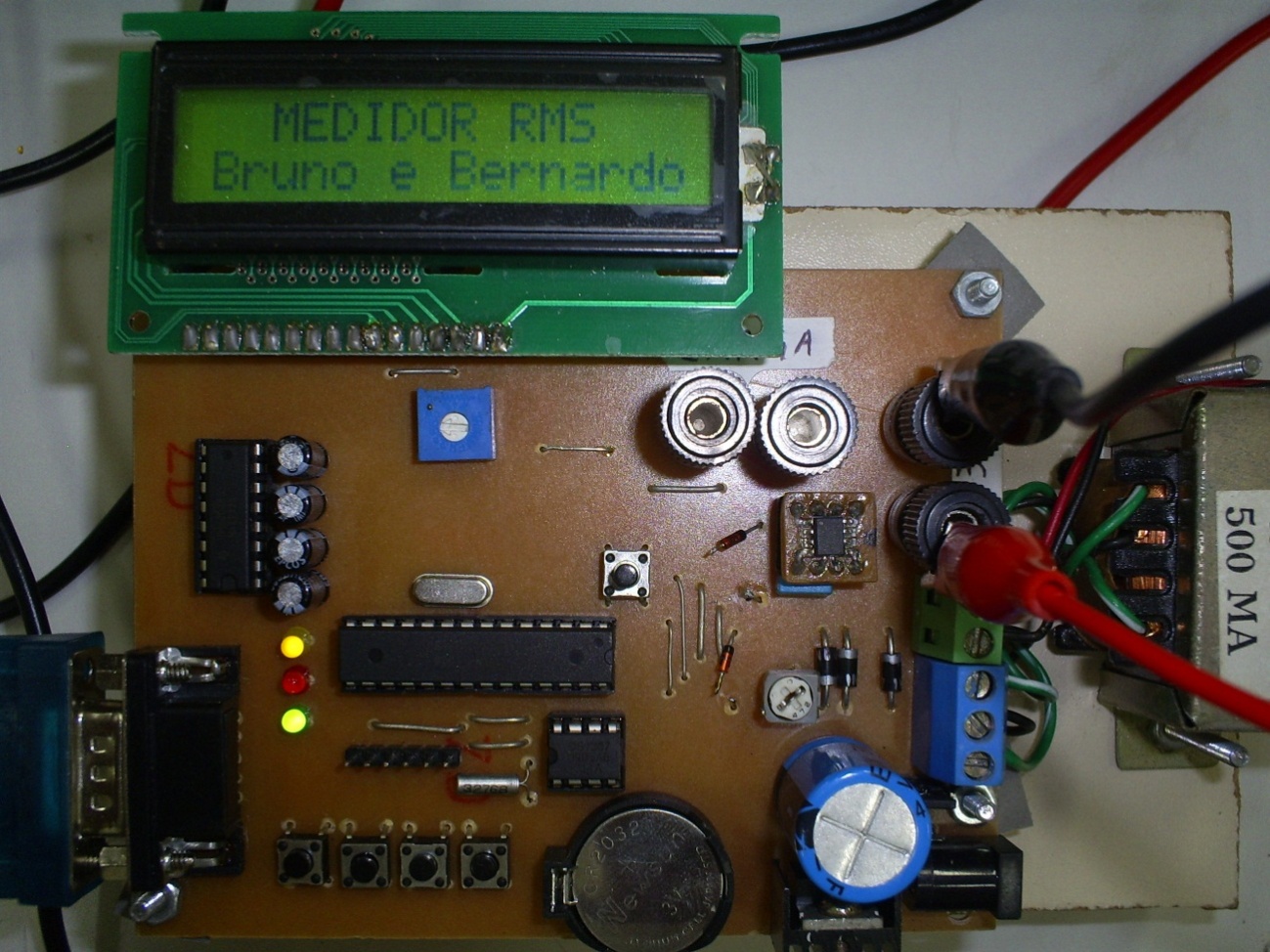


Figura - Foto do protótipo.

Os testes foram realizados com um *varivolt* para modificar a tensão e uma lâmpada incandescente de 100W atuando como carga para a medição de corrente. A Figura 15 apresenta a foto dos elementos na bancada para realização dos testes experimentais.

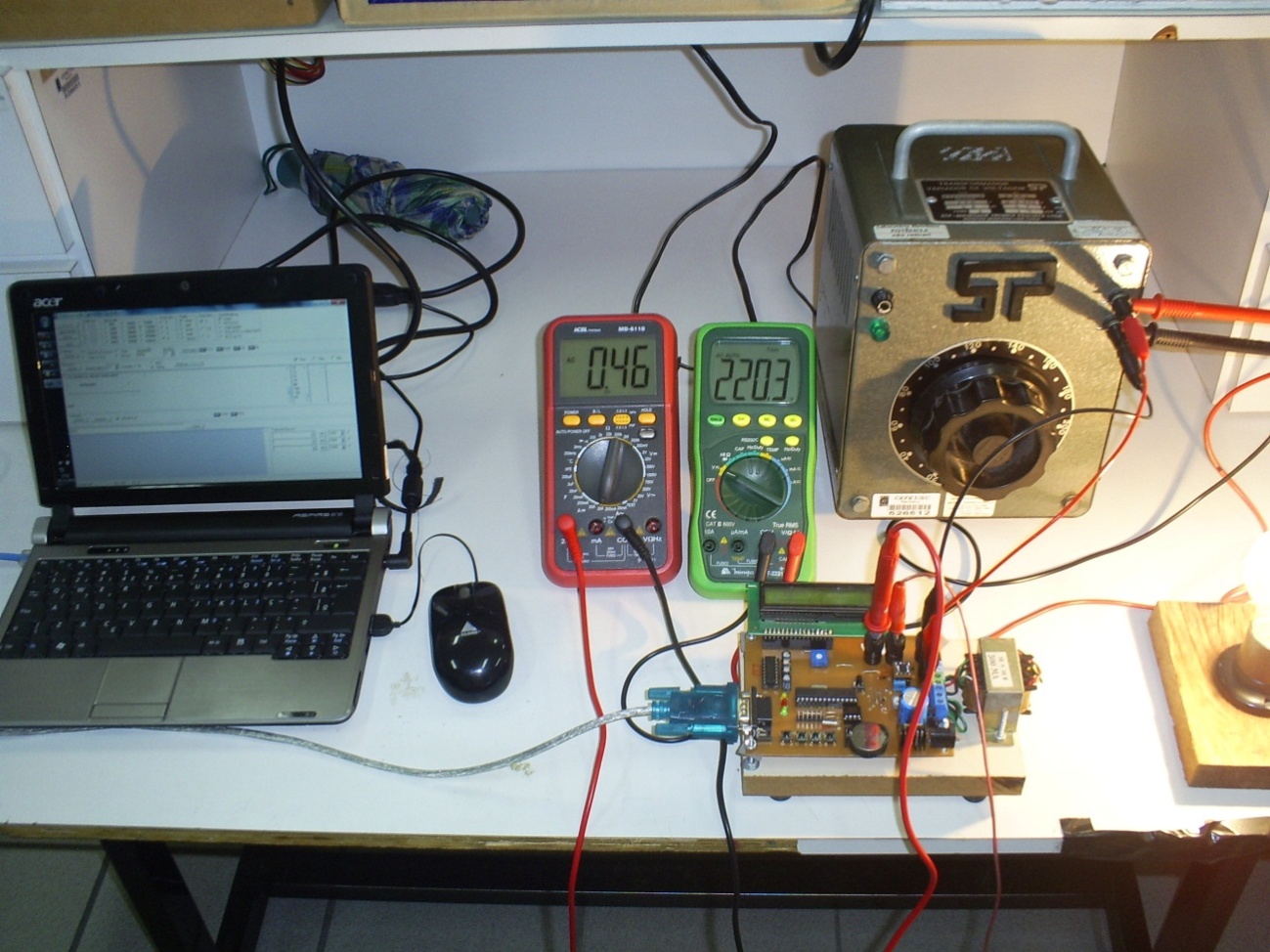


Figura - Foto em bancada do teste experimental.

A Figura 16abaixo mostra os valores medidos com o multímetro *true*-*rms* e a medição que o protótipo realizou. A variação do *varivolt* foi de 10 em 10 volts pegando a faixa de variação da rede elétrica de 10%, sendo o ajuste guiado pelo voltímetro *true*-*rms* utilizado em paralelo.

Os valores de tensão medidos foram iguais, então a Figura 16apresenta a diferenciação da corrente entre amperímetro e protótipo.

Figura - Gráfico comparativo das medidas.

# CRONOGRAMA

Aabaixo apresenta o cronograma planejado e executado durante a realização do projeto.

Tabela - Cronograma planejado e executado.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Metas** | **Períodos do Semestre** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Mês 1** | | | | **Mês 2** | | | | **Mês 3** | | | | **Mês 4** | | | | **Mês 5** | | | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **1** | **2** | **3** | **4** | **1** | **2** | **3** | **4** | **1** | **2** | **3** | **4** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| Diagrama de Blocos | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Definição do Esquemático |  | X | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Simulação |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Firmware* |  |  |  |  | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |  |  |  |  |
| PCI |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |  |  |  |  |
| Relatório |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X |
| Apresentação Oral |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X |

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como requisito do Módulo III do curso, os objetivos foram alcançados, que foi a medição de tensão e corrente da rede elétrica, marcação de data e hora e comunicação com o microcomputador. O cronograma foi seguido corretamente sem atrasos.

Foram vistos neste relatório o diagrama de blocos do sistema completo, os métodos realizados para medição de tensão e corrente da rede elétrica, como foi feita a marcação da data e hora e como foi realizada a comunicação com o microcomputador.

Os resultados foram apresentados graficamente, havendo pequena diferença de medida em relação ao multímetro utilizado. Importante salientar que o multímetro utilizado possui erros e com a troca deste os resultados podem ser diferentes, porém por ser *true*-*rms*, podemos confiar que os valores são praticamente os reais, por fazer o cálculo integral, e concordaram sem muita diferença de medida.

# REFERÊNCIAS

BOGART JR, T. F. **Dispositivos e Circuitos Eletrônicos**. São Paulo: Makron Books, v. I, 2001.

BOGART JR, T. F. **Dispositovos e Circuitos Eletrônicos**. São Paulo: Makron Books, v. II, 2001.

KUO, S. M.; LEE, B. H. **Real-Time Digital Signal Processing**. [S.l.]: Jonh Wiley & Sons Ltd., 2001.

PINHO, E. C. **Manual de Referência para Trabalhos Acadêmicos na Fresa**. Florianópolis: [s.n.], 2008.