



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Fagner de Araujo Pereira

Orientador: Prof. Francisco das Chagas Fernandes Guerra, Dr.

novembro de 2009



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Relatório apresentado à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da UFCG como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

---

Fagner de Araujo Pereira  
Aluno

---

Prof. Francisco das Chagas Fernandes Guerra, Dr.  
Orientador

novembro de 2009

# Agradecimentos

Agradeço ao Senhor Deus por me dar forças, determinação e abençoar minha vida com graças incontáveis. Obrigado Senhor Jesus Cristo.

A minha família: minha mãe, Maria do Socorro Pereira, que sempre me incentivou e que me forneceu meios de me dedicar aos estudos. Aos meus avós, Inácio José de Sousa e Severina Faustulino de Sousa, que acolheram a mim, minha mãe e meus irmãos em sua casa durante toda a vida, dando-nos carinho e amor. Aos meus irmãos. Todos vocês são responsáveis por essa vitória.

A minha namorada, Erica Manuela do Nascimento, que me auxiliou em muitas etapas da minha vida acadêmica e que compreendeu minhas ausências.

Aos meus familiares, amigos e colegas de trabalho que sempre acreditaram na minha capacidade, e que me apoiaram em meus estudos.

Ao professor Chagas, que acreditou no meu trabalho e me orientou neste projeto. Pela sua paciência e pela sua acessibilidade.

# Sumário

Sumário.....	4
Lista de Figuras.....	5
Lista de Tabelas.....	7
1. Introdução.....	6
1.1 Considerações Gerais.....	6
1.2 Metodologia.....	6
2. Montagens.....	7
2.1 Primeira montagem: Módulo de condicionamento de sinais com amplificadores de instrumentação.....	7
2.2 Segunda montagem: Implementação do sistema MatlabScope.....	10
2.3 Terceira montagem: Amplificadores de potência para estudos de caracterização de materiais magnéticos.....	12
2.4 Quarta montagem: Circuitos de disparo de TRIAC's para uso em chave síncrona.....	14
2.5 Quinta montagem: Manutenção corretiva de uma bancada para estudos de sistemas trifásicos.....	18
3. Anexos.....	20
3.1 Anexo 1: Módulo de condicionamento de sinais com amplificadores de instrumentação.....	21
3.2 Anexo 2: Amplificador de potência.....	23
3.3 Anexo 3: Circuito de disparo de TRIAC.....	25
4. Conclusão.....	27

# Lista de Figuras

Fig. 2.1 Amplificador de instrumentação construído a partir de amplificadores operacionais.....	11
Fig. 2.2 O amplificador de instrumentação rejeita as tensões comuns, mas amplifica pequenas diferenças de tensão.....	11
Fig. 2.3 Circuito amplificador de instrumentação utilizado no módulo de condicionamento de sinais.....	13
Fig. 2.4 Módulo de condicionamento de sinais.....	14
Fig. 2.5 Interface principal do sistema MatlabScope.....	14
Fig. 2.6 Placa de aquisição de dados usada no sistema <i>MatlabScope</i> .....	14
Fig. 2.7 Dois sistemas MatlabScope operando simultaneamente.....	15
Fig. 2.8 Transformador de núcleo toroidal com enrolamento primário (preto) e secundário (cinza), usado para ensaio e caracterização do material magnético...	16
Fig. 2.9 Uma montagem adequada para alimentação do primário de um transformador toroidal sob um teste de caracterização de materiais magnéticos.....	17
Fig. 2.10 Circuito amplificador de 200 W.....	17
Fig. 2.11 Montagem do circuito amplificador de 200 W.....	18
Fig. 2.12 Módulo de chave síncrona com detalhes mostrando os sinais de controle que poderiam ser interfaceados para controlar os TRIAC's.....	19
Fig. 2.13 Circuito de aplicação do optoacoplador MOC3022.....	21
Fig. 2.14 Circuito de disparo de TRIAC's.....	22
Fig. 2.15 Placa montada com o circuito de disparo de TRIAC.....	23
Fig. 2.16 Módulo de controle conectado ao circuito de disparo de TRIAC's.....	24
Fig. 2.17 Bancada modular para estudos de sistemas trifásicos.....	25
Fig. 2.18 Disjuntor de proteção da bancada trifásica.....	25
Fig. 2.19 Disjuntor de proteção diferencial.....	26
Fig. 2.20 Módulo desconectado da rede de alimentação distribuída da bancada.....	26

# 1. Introdução

## 1.1 Considerações Gerais

O estágio supervisionado foi realizado no Laboratório de Proteção e Simulação de Sistemas de Potência (LASSE) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, com orientação do professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra, no período de agosto a novembro de 2009.

O estágio teve como objetivo o melhoramento tanto do ponto de vista didático quanto estrutural do LASSE, com o projeto e implementação de módulos de hardware para aplicações em aquisição e processamento de dados, bem como a manutenção corretiva de uma bancada de estudos para sistemas trifásicos.

Para a montagem dos módulos, simulação e layout de placas foram feitos usando ferramentas como *PROTEUS (ISIS 6 PROFESSIONAL)*, *PROTEUS (ARES 6 PROFESSIONAL)*.

O Modelamento Virtual de Sistemas do Proteus - *Proteus Virtual System Modelling (VSM)* - combina simulação de circuito em modo *SPICE*, componentes animados e modelos de microcontroladores, com o objetivo de facilitar a co-simulação de projetos completos baseados em microcontroladores. O software Proteus, com uma interface amigável, proporciona uma alta qualidade na Captura de Esquemático (*software ISIS*) e no Layout de PCB (*software ARES*) para tradicionais projetos auxiliados por computador (CAD).

Este relatório é composto de forma modular, de modo a contemplar cada atividade desenvolvida neste período, sendo assim, cada tópico pode ser lido independentemente dos outros.

## 1.2 Montagens

O estágio foi dividido a partir da realização de montagens específicas que atendiam às necessidades do laboratório. Assim, as montagens realizadas foram:

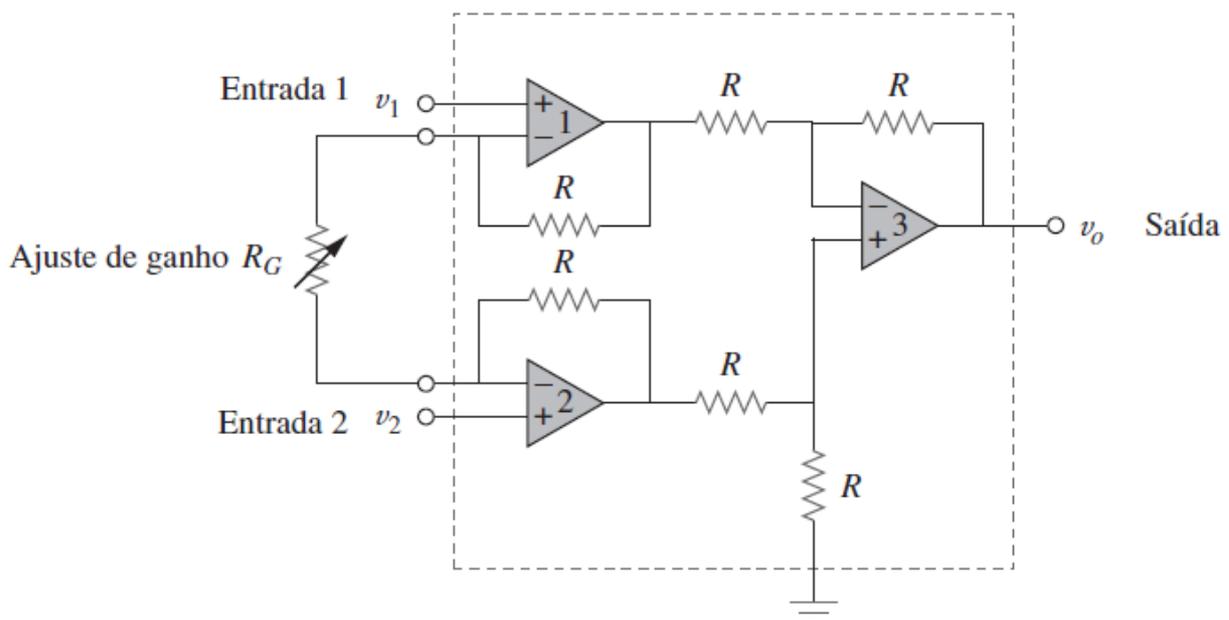
1. *Módulo de condicionamento de sinais com amplificadores de instrumentação;*
2. *Implementação do sistema MatlabScope;*
3. *Montagem de amplificadores de potência para estudos de caracterização de materiais magnéticos;*
4. *Montagem de circuitos de disparo de TRIAC's para uso em chave síncrona;*
5. *Manutenção corretiva de uma bancada para estudos de sistemas trifásicos.*

## 2. Montagens

### 2.1 Primeira montagem: módulo de condicionamento de sinais com amplificadores de instrumentação.

Uma das necessidades do laboratório era a presença de um circuito condicionador de sinais que contivesse amplificadores de instrumentação em sua entrada, a fim de garantir precisão, confiabilidade, e integridade dos sinais sob análise.

Um amplificador de instrumentação é uma extensão do amplificador diferencial, o qual amplifica a diferença entre dois sinais de entrada. Como mostrado na Fig. 2.1, um amplificador de instrumentação é composto basicamente por três amplificadores operacionais e sete resistores.

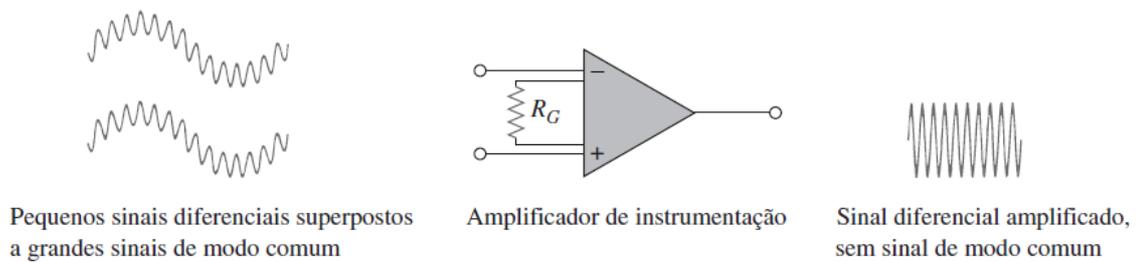


**Fig. 2.1**  
**Amplificador de instrumentação construído a partir de amplificadores operacionais.**

Como mostrado na Fig. 2.2, o amplificador de instrumentação amplifica pequenas diferenças dos sinais de tensão superpostos a grandes tensões de modo comum.

O amplificador de instrumentação possui 3 características principais:

1. O ganho de tensão é ajustado por um resistor  $R_G$ ;
2. A impedância dos dois terminais de entrada é muito alta e não varia com o ajuste do ganho, o que garante casamento de impedância em sistemas de aquisição de dados;
3. A tensão de saída  $V_o$  depende da diferenças entre as tensões presentes nas entradas 1 e 2, e não da tensão comum entre elas.

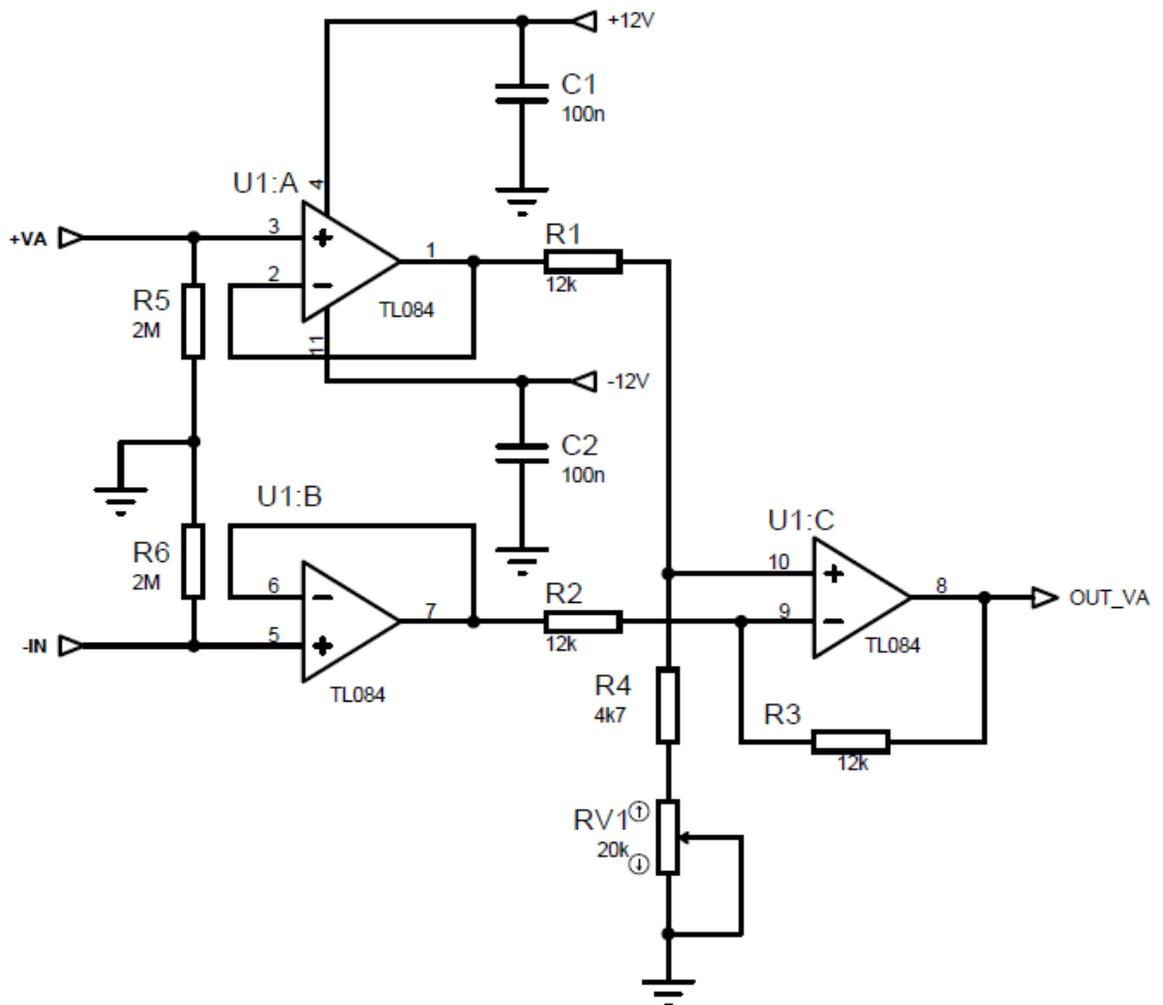


**Fig. 2.2**  
**O amplificador de instrumentação rejeita as tensões comuns, mas amplifica pequenas diferenças de tensão.**

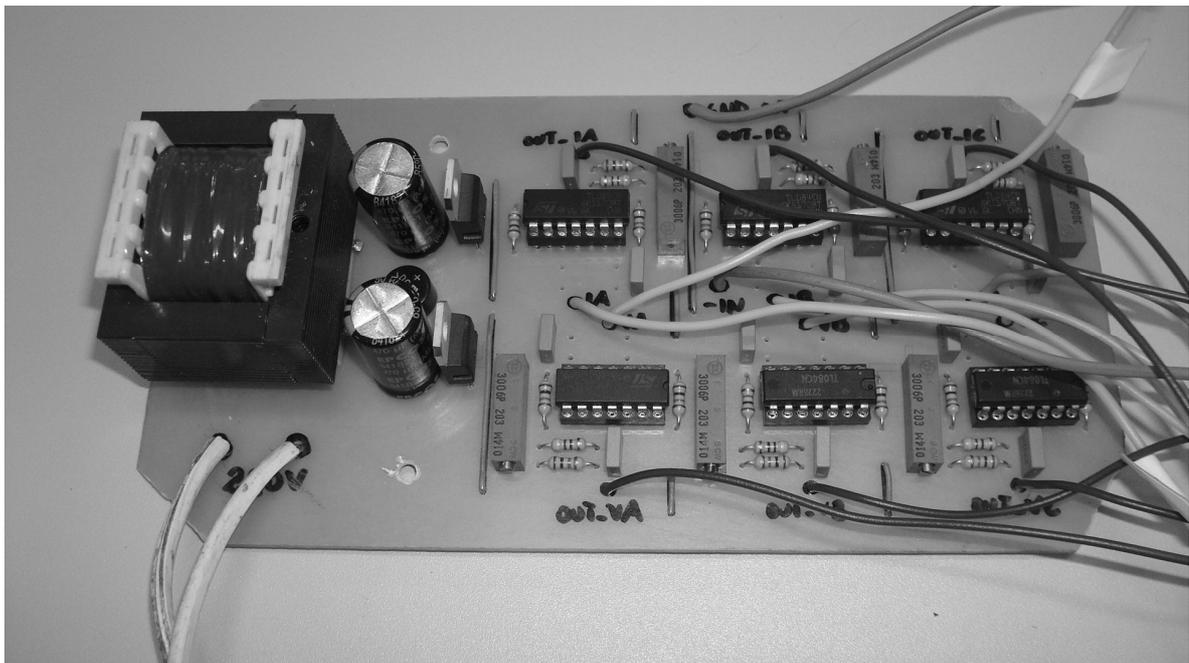
Foram então projetados e montados dois módulos de condicionamento de sinais com amplificadores de instrumentação. Cada módulo possui 6 entradas e 6 saídas, podendo processar simultaneamente até seis sinais.

A Fig. 2.3 mostra o circuito utilizado no módulo de condicionamento e a Fig. 2.4 mostra a placa montada e a aparência final do módulo montado. O ganho de tensão do circuito foi ajustado para ser unitário.

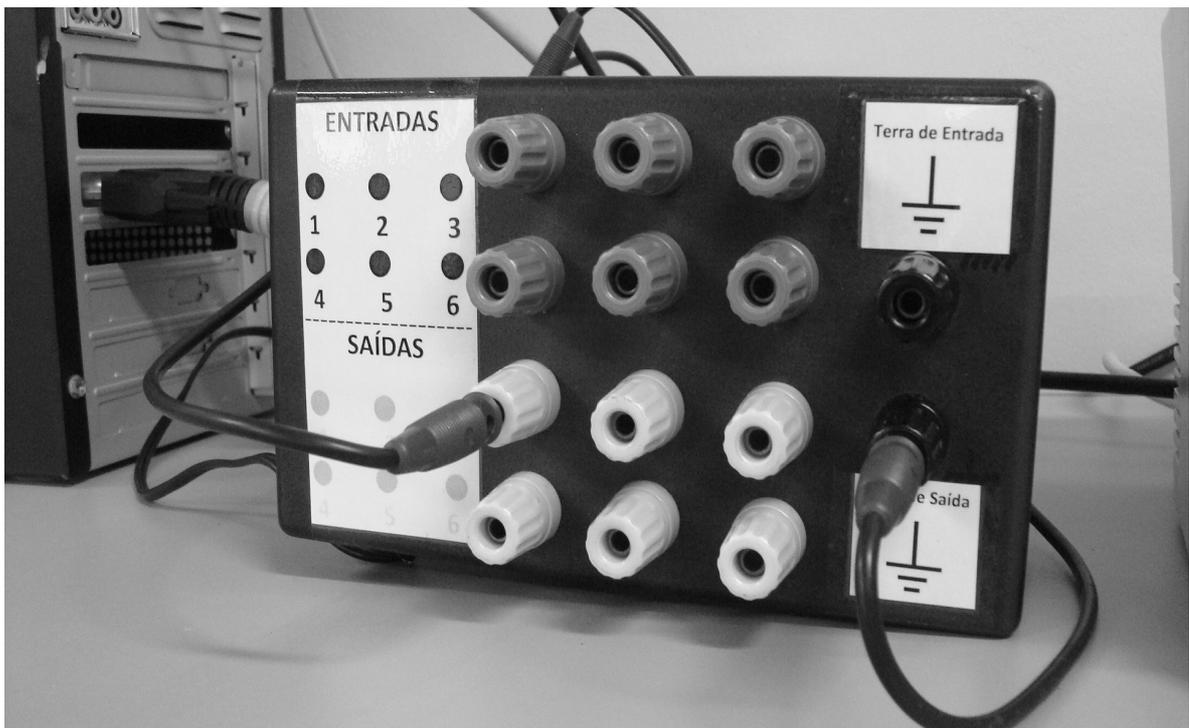
Em anexo, encontra-se o circuito completo do módulo de condicionamento montado.



**Fig. 2.3**  
**Circuito amplificador de instrumentação utilizado no módulo de condicionamento de sinais.**



(a)

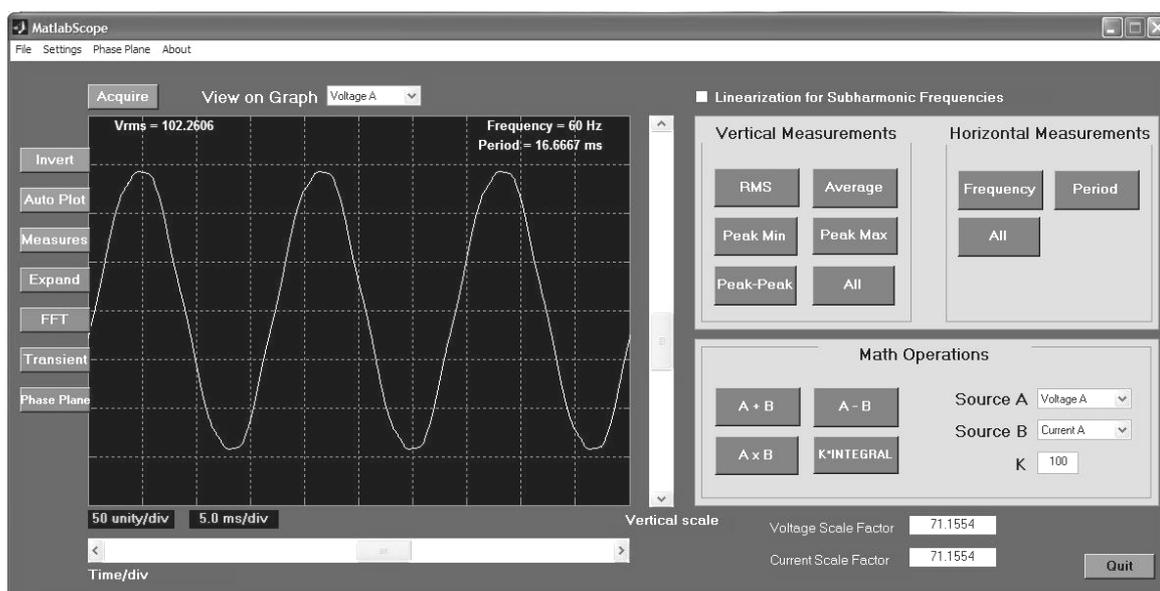


(b)

**Fig. 2.4**  
**Módulo de condicionamento de sinais.**  
**a) placa montada;**  
**b) aparência final do módulo montado.**

## 2.2 Segunda montagem: Implementação do sistema *MatlabScope*

O *MatlabScope* é um sistema de aquisição e processamento de dados composto por hardware e software. Esse sistema é capaz de medir e analisar, simultaneamente, sinais provenientes de seis canais de entrada. Cada canal deve estar associado à medição de uma tensão ou corrente elétrica, relativa a cada fase do sistema elétrico sob teste. A sua aplicação base se dá na análise dos sinais de tensão e corrente elétricas de um sistema trifásico operando em 50 ou 60 Hz. São analisadas informações importantes das grandezas do sistema, tais como amplitudes e valores eficazes das componentes harmônicas fundamentais de cada sinal, análise espectral, formas de onda dos sinais adquiridos, detecção de transitórios, entre outras. A Fig. 2.5 mostra a interface principal do *MatlabScope*.



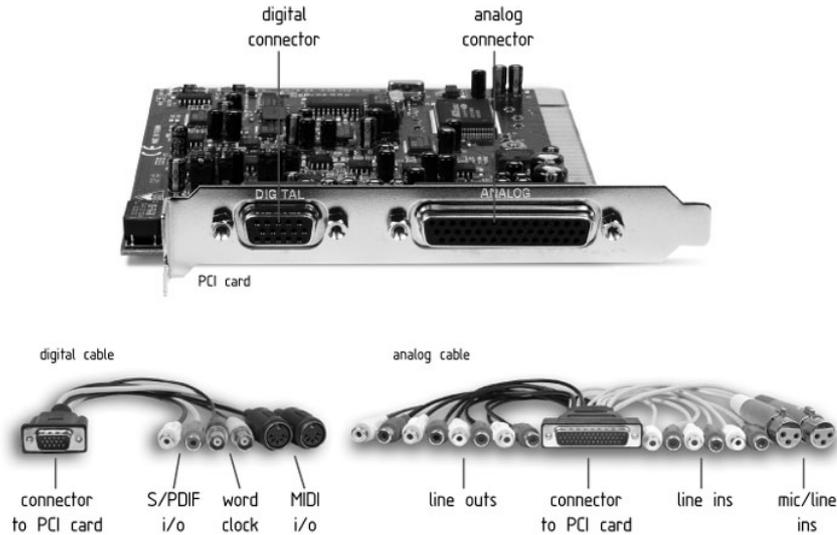
**Fig. 2.5**  
**Interface principal do sistema *MatlabScope*.**

O sistema *MatlabScope* completo consiste basicamente de um computador pessoal, onde é instalado uma placa de aquisição de dados, e também o software matemático *Matlab*, que é a linguagem usada no desenvolvimento do sistema. Além disso, são necessários, também, os módulos de condicionamento de sinal que são ligados às entradas da placa de aquisição.

Previamente ao período do estágio já havia um sistema *MatlabScope* funcionando no laboratório. Assim, a montagem referente a esse estágio foi a implementação de um outro sistema, semelhante ao primeiro, a fim de prover ao laboratório a disponibilidade de dois sistemas de aquisição de dados com as mesmas características.

O trabalho constou da instalação e ajuste da nova placa de aquisição de dados em um novo computador pessoal além de alterações específicas no software do sistema.

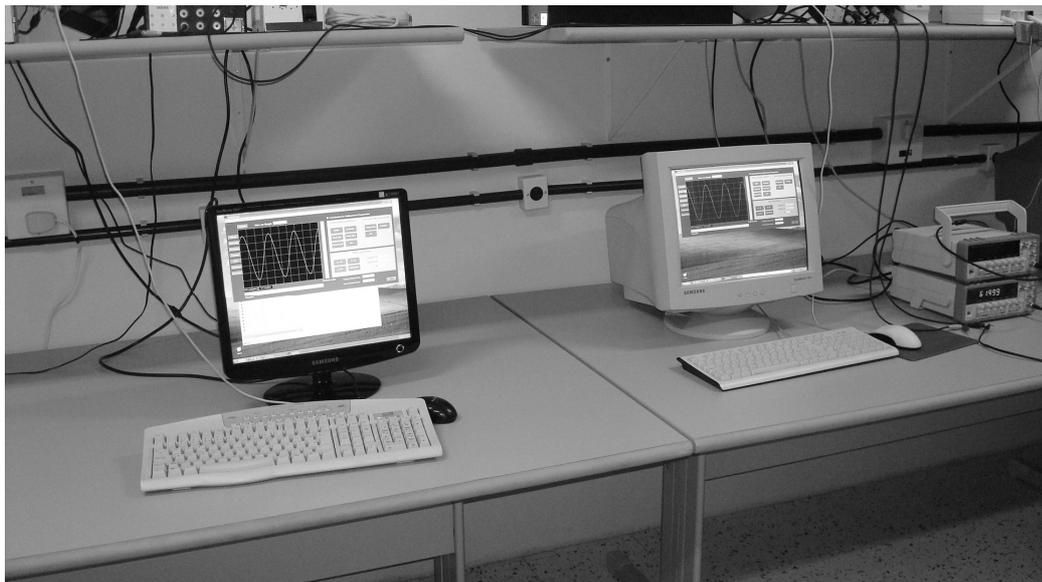
A placa de aquisição de dados usada é uma placa de som *Delta 1010LT*, padrão *PCI*, mostrada na Fig. 2.6.



**Fig. 2.6**  
**Placa de aquisição de dados usada no sistema MatlabScope.**

Após a instalação da placa, foi feito a configuração de parâmetros para adequar seu uso ao sistema de aquisição. As configurações de parâmetros consistiam basicamente em ajustar a taxa de amostragem da placa, que no caso foi de  $44100\text{ Hz}$ , e ajuste de níveis de sinal de entrada para  $4V_{rms}$  máximos. Essas configurações são ajustadas no *driver* da placa, fornecido pelo fabricante no *CD* de instalação do produto. Além disso, um ajuste de ganho de tensão foi inserido dentro do software de controle do *MatlabScope* a fim de compatibilizar as medições feitas pelo novo sistema às medições realizadas com o primeiro sistema já implementado.

Um teste realizado a partir de uma série de medidas feitas simultaneamente com os dois sistemas sobre um mesmo conjunto de sinais revelou total compatibilidade entre as duas unidades. A Fig. 2.7 exibe uma fotografia dos dois sistemas operando simultaneamente.



**Fig. 2.7**  
**Dois sistemas MatlabScope operando simultaneamente.**

## 2.3 Terceira montagem: Amplificadores de potência para estudos de caracterização de materiais magnéticos

As pesquisas por materiais magnéticos com melhores características são motivadas pela possibilidade de redução nas dimensões dos equipamentos que os contém e diminuição nas limitações do desempenho devido à saturação e perdas.

Uma das técnicas de caracterização de materiais magnéticos consiste na confecção de toróides com o material sob estudo, no qual são construídos enrolamentos primário e secundário, formando um transformador de núcleo toroidal, como mostra a Fig. 2.8.



**Fig. 2.8**

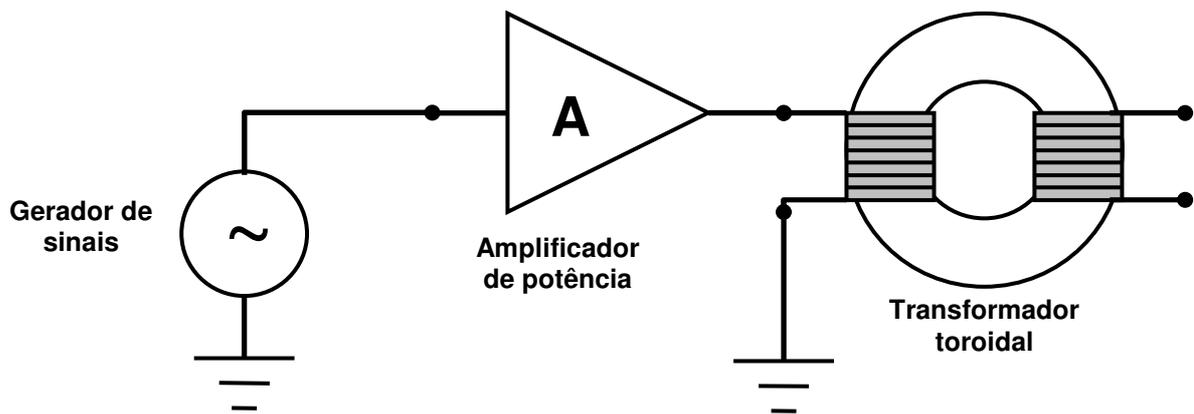
***Transformador de núcleo toroidal com enrolamento primário (preto) e secundário (cinza), usado para ensaio e caracterização do material magnético.***

Conhecendo-se os sinais de excitação do primário e medindo-se os sinais induzidos no secundário, é possível traçar a curva de histerese para o material sob análise. Assumindo ainda que a geometria do circuito magnético é conhecida, consegue-se determinar diversas características magnéticas do material.

Normalmente, os sinais de excitação devem possuir potência suficiente para se levar o material sob análise à saturação, assim como devem cobrir uma larga faixa de frequências de modo a se verificar o comportamento do material do núcleo. Dessa forma, a alimentação direta pela rede de distribuição de energia não é indicada devido ao fato de termos disponíveis apenas valores fixos de tensão e frequência. Assim, o uso de um amplificador de potência é indicado para excitação do enrolamento primário nesse tipo de caracterização.

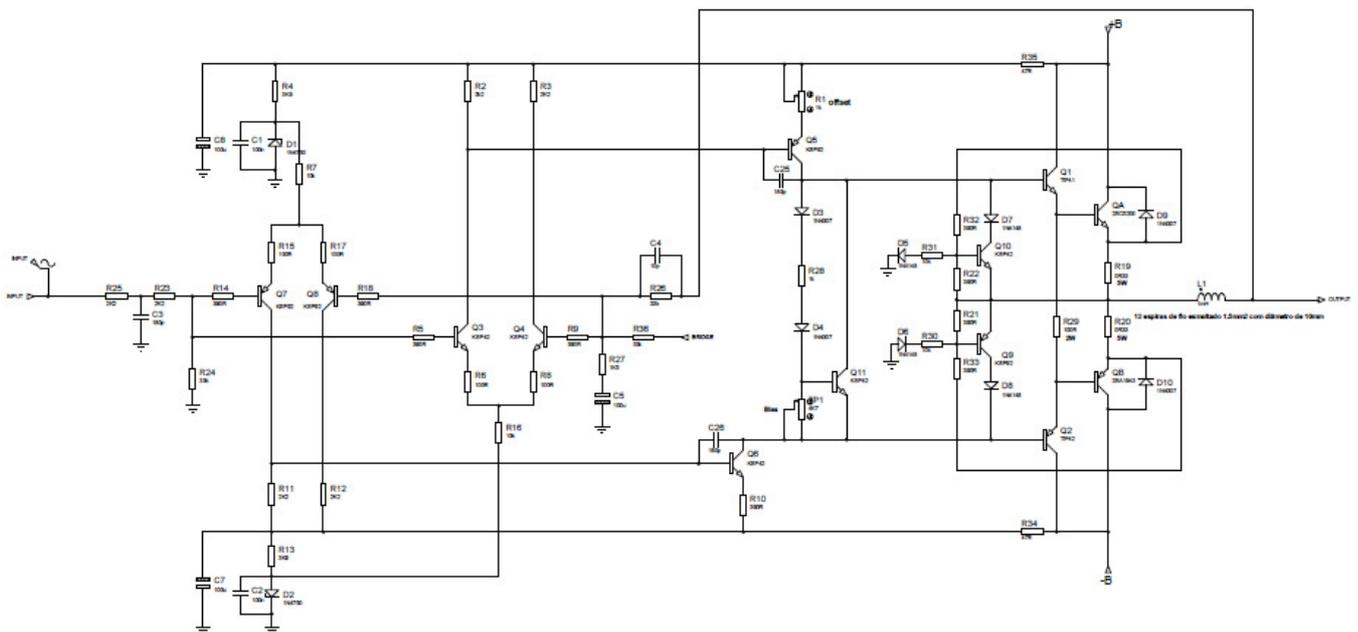
O transformador de potência deve ser capaz de fornecer tensões e correntes suficientes ao enrolamento primário a fim de levá-lo à saturação, bem como deve ser capaz de fornecer tal potência em diferentes frequências de operação.

Uma montagem adequada para alimentação do primário de um transformador toroidal sob um teste de caracterização de materiais é mostrada na Fig. 2.9. Nessa montagem, o gerador fornece o sinal com tensão reduzida e frequência desejadas. O amplificador amplifica esse sinal, com a mesma forma de onda e frequência. O sinal amplificado é então usado para excitar o primário do transformador.



**Fig. 2.9**  
**Uma montagem adequada para alimentação do primário de um transformador toroidal sob um teste de caracterização de materiais magnéticos.**

Foram montados dois amplificadores, de 200 W cada um, para suprir a essa necessidade do laboratório para ensaios de materiais magnéticos. A Fig. 2.10 mostra o circuito amplificador usado nas duas montagens (*esse circuito pode ser melhor visualizado na figura presente nos anexos, no final deste relatório*). O circuito tem um ganho de tensão de aproximadamente 55 vezes e pode fornecer até 200 W de potência em sua saída.



**Fig. 2.10**  
**Circuito amplificador de 200W.**

O circuito opera com sinais com frequência que variam de zero (nível DC) à aproximadamente 20 KHz.

A Fig. 2.11 mostra a montagem finalizada, onde foram acrescentadas chaves de acionamento além de indicador luminoso de funcionamento normal.



**Fig. 2.11**  
**Circuito amplificador de 200W.**

## **2.4 Quarta montagem: Circuitos de disparo de TRIAC's para uso em chave síncrona**

As correntes transitórias que surgem durante a energização de transformadores podem ser de grande amplitude, com amplo espectro harmônico, incluindo componentes de corrente contínua, e tem origem na saturação magnética do núcleo do transformador. Os efeitos destas altas correntes, por conseguinte, orientam para a necessidade da redução de seus níveis. Para se atingir tais propósitos, um dos procedimentos passíveis de implementação consiste no que se denomina por chaveamento controlado.

A aplicação de chaveamento controlado exige um atuador eletrônico que monitorea os sinais de tensão e/ou corrente do circuito primário. O controlador identifica o instante ideal para realizar a operação de chaveamento. O sinal de fechamento ou abertura é enviado para a chave através do controlador e atrasado por este de forma a atingir o instante indicado para o chaveamento.

Para que esta solução venha a ser eficaz, torna-se essencial o prévio conhecimento do fluxo residual do núcleo do transformador, o qual conjuntamente com o instante de chaveamento determina as condições para as quais a energização ocorrerá sem altos níveis de correntes.

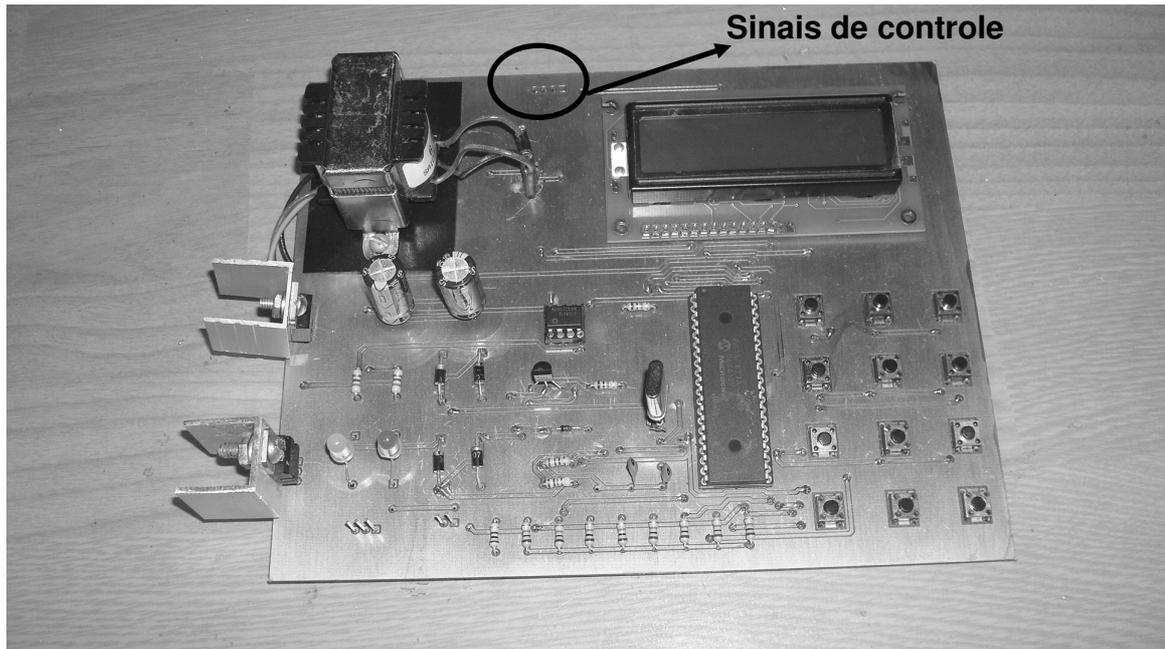
A técnica de chaveamento controlado é bastante importante para engenheiros eletricitistas, pois a mesma tem influência na qualidade de energia.

Antes de esse estágio ser realizado, havia dois módulos de um modelo de chave síncrona microcontrolada, cujo chaveamento da carga era realizado por meio do fechamento de relés eletromecânicos. Um problema encontrado nesse tipo de montagem era a dificuldade em gerenciar o atraso entre os sinais de controle do fechamento dos relés, vindos do microcontrolador, e o efetivo fechamento dos contatos mecânicos. Cada relé, de uma mesmo módulo, introduzia diferentes atrasos no fechamento dos contatos.

Uma solução encontrada para esse problema foi a substituição dos relés por componentes semicondutores. O componente escolhido foi o TRIAC, visto que as cargas alimentadas pela chave síncrona eram cargas AC.

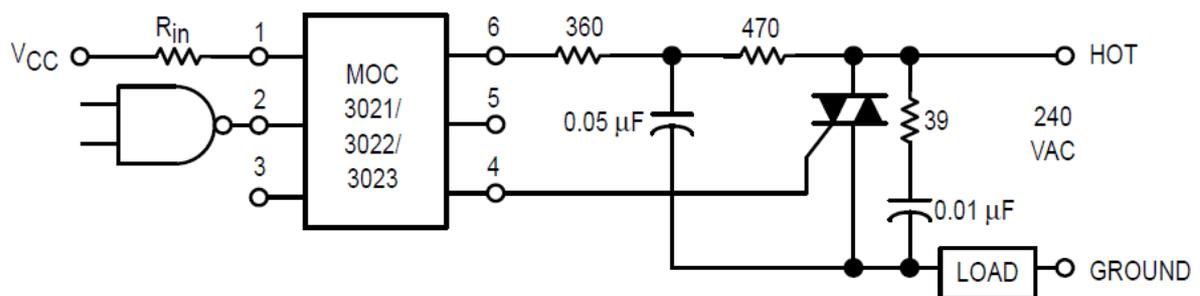
Uma necessidade imposta a essa substituição de dispositivos de chaveamento era que fossem utilizados os mesmos módulos de chave síncrona já montados. Os módulos montados disponibilizavam sinais de controle que poderiam ser interfaceados com um *drive* de potência, no qual estariam instalados os TRIAC's de chaveamento da carga.

A Fig. 2.12 mostra um dos módulos que já se encontrava em funcionamento com o uso de relés.



**Fig. 2.12**  
Módulo de chave síncrona com detalhes mostrando os sinais de controle que poderiam ser interfaceados para controlar os TRIAC's.

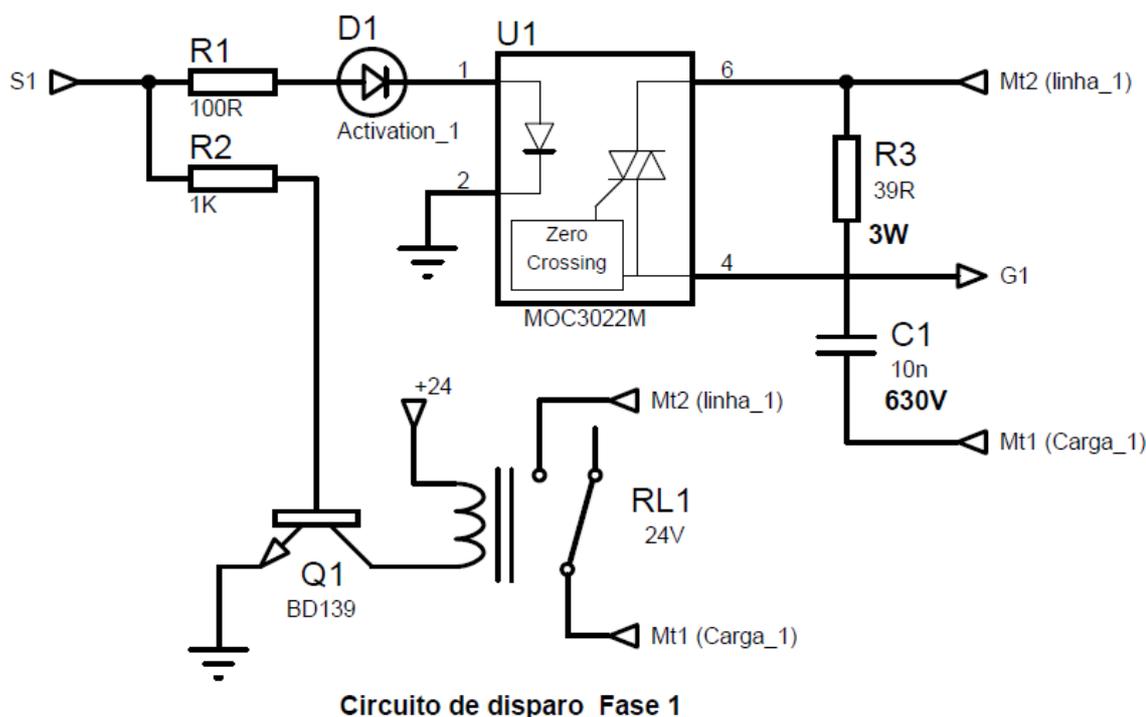
O circuito de potência utilizado para a construção do módulo de chaveamento se baseou no circuito de aplicação encontrado no *datasheet* do optoacoplador MOC3022, também utilizado na montagem, e é mostrado na Fig. 2.13.



**Fig. 2.13**  
Circuito de aplicação do optoacoplador MOC3022.

O optoacoplador *MOC3022* usado garante isolamento entre o circuito eletrônico de controle da chave síncrona, que é de baixa tensão, e a rede de alimentação da carga, além de funcionar como *drive* para o TRIAC de potência. Com essa montagem, o fechamento do TRIAC não sofre atraso considerável em relação à aplicação do sinal de controle.

O circuito usado na montagem do módulo de potência é mostrado na Fig. 2.14.

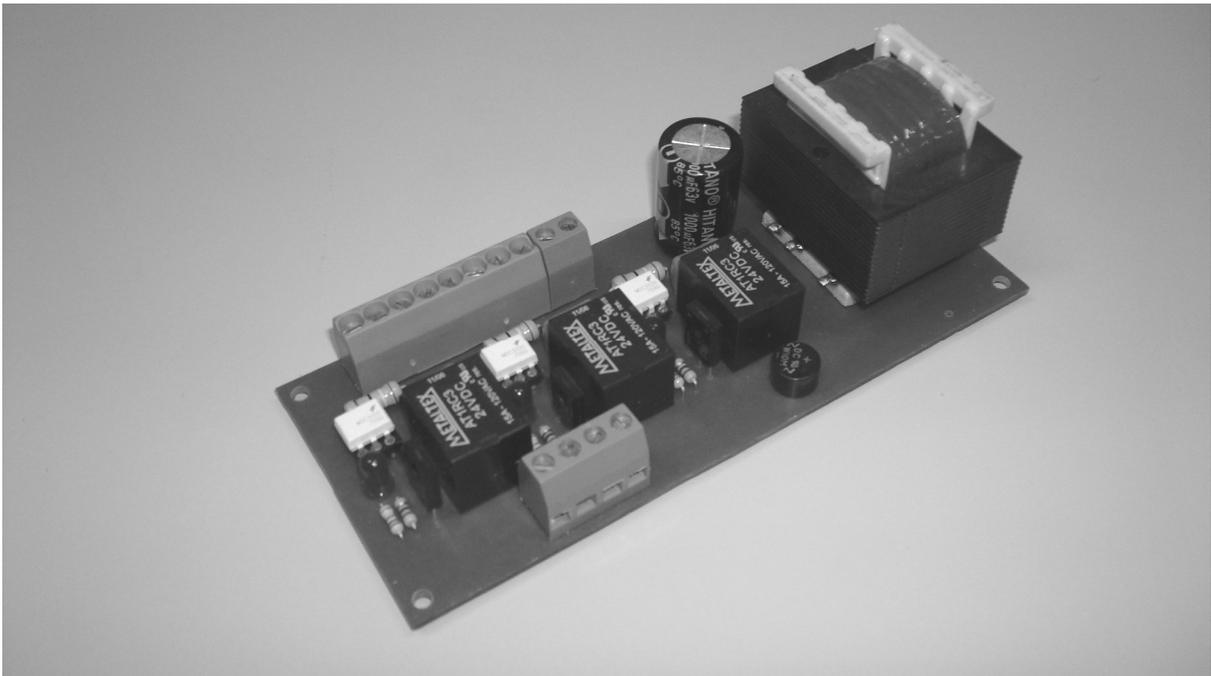


**Fig. 2.14**  
**Circuito de aplicação do optoacoplador MOC3022.**

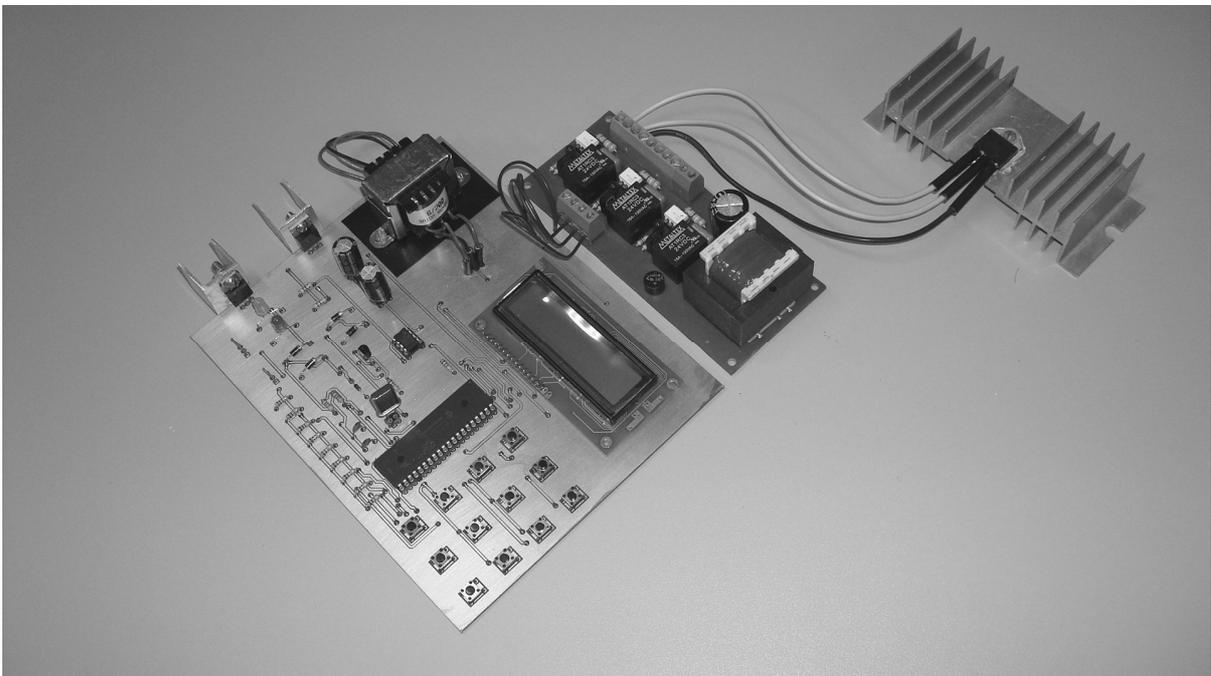
A entrada *S1* recebe o sinal de controle do fechamento do TRIAC. Este sinal é enviado pelo módulo de controle da chave síncrona já existente e consta de um sinal de nível alto de 5Vcc. O *LED D1* informa quando o circuito está ativo. Nos terminais *Mt1*, *Mt2* e *G1* são ligados os terminais de mesmo nome do TRIAC. O TRIAC deve ser selecionado de acordo com a potência da carga a ser acionada. O uso do relé de 24V *RL1* é opcional. O relé é ligado em paralelo com o TRIAC e auxilia este na condução da corrente da carga. O uso do relé é feito ao alimentar o circuito da fonte de alimentação do módulo de potência. Caso a fonte não seja alimentada o circuito opera normalmente sem o uso do relé.

O módulo de potência completo consta de 3 circuitos semelhantes ao mostrado na Fig. 2.14, montados numa mesma placa, sendo cada circuito destinado a chavear a alimentação de um dos braços de uma carga trifásica.

A Fig. 2.15 mostra a placa montada e a Fig. 2.16 mostra o módulo de controle conectado à placa montada, juntamente com os TRIAC's de potência.



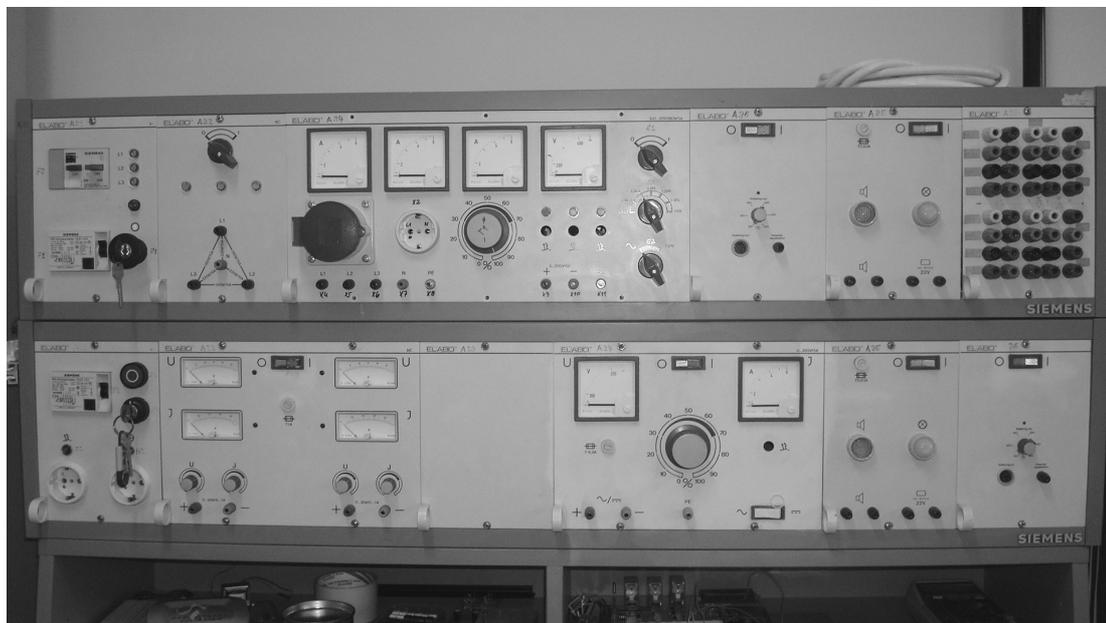
**Fig. 2.15**  
**Placa montada com o circuito de disparo de TRIAC.**



**Fig. 2.16**  
**Módulo de controle conectado ao circuito de disparo e TRIAC's de potência.**

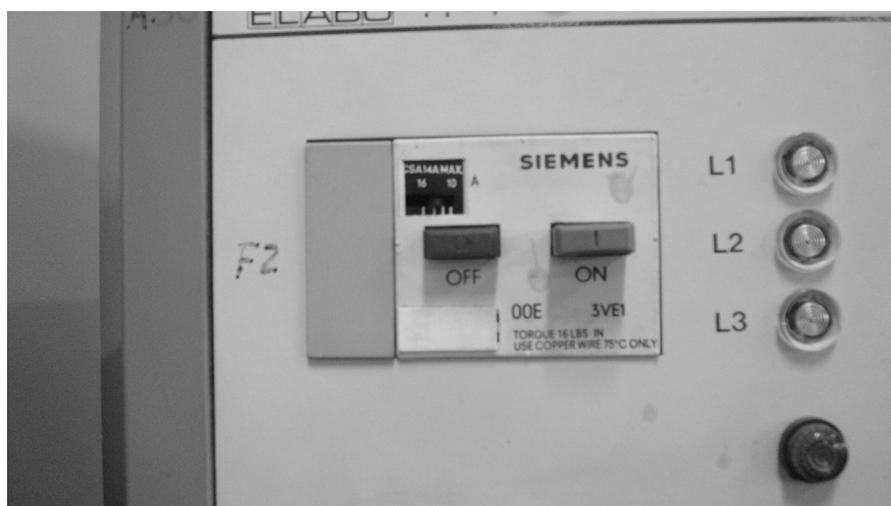
## 2.5 Quinta montagem: Manutenção corretiva de uma bancada para estudos de sistemas trifásicos

A Fig. 2.17 mostra uma fotografia de uma bancada modular para estudos de sistemas trifásicos que se encontrava no laboratório, mas apresentava problemas de funcionamento.



**Fig. 2.17**  
**Bancada modular para estudos de sistemas trifásicos.**

Em princípio, o disjuntor de proteção, mostrado na Fig. 2.18, não conseguia ser armado. Após ser cuidadosamente retirado, verificou-se que o mesmo possuía um eletroímã cujo enrolamento era de 220V alternados, mas que nunca era energizado. Com um teste feito fora da bancada, verificou-se que o disjuntor estava operando normalmente, mas que para ser armado era necessária a energização do eletroímã. O disjuntor foi então recolocado no painel da bancada e um circuito de alimentação do eletroímã foi inserido. Com essa correção, a bancada passou a ser energizada normalmente.



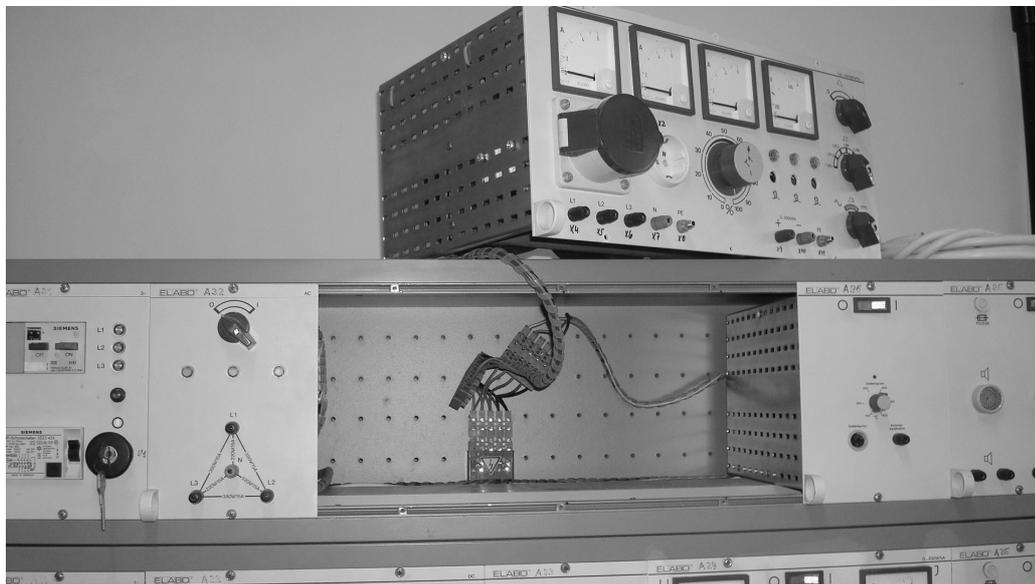
**Fig. 2.18**  
**Disjuntor de proteção da bancada trifásica.**

Foi testado também o disjuntor trifásico diferencial, mostrado na Fig. 2.19, que era usado para proteção do operador da bancada. O disjuntor apresentava um perfeito funcionamento, não necessitando de qualquer manutenção.



**Fig. 2.19**  
**Disjuntor de proteção diferencial.**

Mesmo após a manutenção do disjuntor de proteção, alguns módulos da bancada não estavam sendo energizados. Esses módulos foram então retirados da bancada e foi verificado que os mesmos estavam desconectados da rede de alimentação que era distribuída por toda a bancada, como mostra a Fig. 2.20.



**Fig. 2.20**  
**Módulo desconectado da rede de alimentação distribuída na bancada.**

Após a alimentação do módulo ter sido restabelecida, a bancada apresentou todo o seu funcionamento normalizado.

Foi ainda testado o sistema de aterramento da bancada, onde também foi verificado o seu perfeito funcionamento.

# **3. Anexos**

## **3.1 Anexo 1:**

### **Módulo de condicionamento de sinais com amplificadores de instrumentação**



## **3.2 Anexo 2:**

### **Amplificador de potência**



### **3.3 Anexo 3:**

## **Circuito de disparo de TRIAC**



## 4. Conclusão

As atividades desenvolvidas nesse estágio contemplaram o projeto, simulação, montagem e teste de circuitos eletrônicos analógicos e digitais, assim como análise de circuitos de média tensão (220/380V). Dessa forma, este trabalho busca colocar em prática conceitos teóricos estudados durante toda a graduação.

O laboratório e o professor Francisco das chagas forneceram toda a atenção necessária, buscando ao máximo suprir as necessidades para o desenvolvimento das atividades aqui apresentadas no menor intervalo de tempo possível.