

# AUTOMATIZAÇÃO DE ENSAIOS

Felipe Antonio Montagneri Lucchini <sup>1</sup>; Marcelo Porto Trevizan <sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** O trabalho consiste em analisar um protótipo já existente de um sistema que implementa a automatização de ensaio de antena e reabilitá-lo, tornando-o funcional e mais flexível ao usuário. Para tal proposta, será reimplementada uma unidade de controle com o uso do microcontrolador PIC, a qual irá comandar os movimentos da planta. Em seguida, o programa VEE Pro será utilizado, por apresentar uma interface apropriada ao controle e obtenção de dados de equipamentos diversos. A etapa final consistirá, então, da implementação de um algoritmo e de uma interface com o usuário para realizar automaticamente os ensaios e gerar um relatório simples com os dados resultantes. Tal sistema será a base do sistema a se empregar numa planta externa de ensaios de antena. O trabalho encontra-se em desenvolvimento. Ainda, em outra frente, realizou-se o projeto e implementação de uma fonte para diodo Gunn.

## Introdução

Uma das características mais importantes que descreve o comportamento de uma antena é seu diagrama de irradiação. Por meio dele, sabe-se quanta energia é transmitida numa direção em relação às outras direções, para uma antena transmissora. De forma análoga, para uma antena receptora, sabe-se quanto de energia de uma onda eletromagnética é acoplada em cada direção da antena. Na realidade, para uma determinada antena, esteja ela operando como transmissora ou receptora, seu diagrama de irradiação será o mesmo.

Para o levantamento do diagrama de irradiação necessita-se de, no mínimo, um gerador de RF (Rádio Frequência), uma antena transmissora, a antena receptora, que, no caso, pode ser a antena em teste, e um analisador de espectro ou outro que permita medir a potência recebida pela antena. A dinâmica do ensaio consiste em se definir uma frequência e, para cada direcionamento da antena em teste, registrar a potência por ela recebida.

Tais ensaios seriam bastante otimizados se fossem realizados automaticamente, evitando a repetitividade das operações pelo usuário, sujeitas a erros e com duração muito mais prolongada. Com este objetivo, um sistema de ensaio automatizado de antena mostra-se muito eficaz e eficiente.

Em dois Trabalhos de Graduação, Cestari *at al* (2002) e Souza *at al* (2003), foi implementado tal sistema, cujos ensaios práticos e resultados apresentaram-se positivos.

Contudo, por sete anos, o trabalho mantevesse inativo, além de uma das interfaces utilizadas tornar-se obsoleta. Na nova proposta aqui apresentada, soluções mais interessantes do ponto de vista de manutenção, atualização e expansão serão adotadas.

Em outro âmbito, na área de micro-ondas, tem-se o diodo Gunn, que se trata de um dispositivo de estado sólido utilizado para gerar onda eletromagnética – ou, expressando de outra forma, para gerar um sinal de RF (Rádio-Frequência). Sua alimentação é feita por meio de uma fonte de tensão em corrente contínua, com algumas características especiais para assegurar que não ocorrerá dano ao dispositivo e para fornecer funcionalidades adicionais ao usuário.

Dado que a fonte disponível era de certa forma antiga e passou a apresentar defeitos, o projeto e construção de uma nova foi realizada.

Esclarece-se que o desenvolvimento de tal fonte não estava no programa original deste trabalho de iniciação científica. Entretanto, seu projeto e implementação teve início antes da aprovação deste trabalho e foi concluído após a aprovação, consumindo uma considerável parte do tempo previsto no cronograma originariamente apresentado. Por isso e tal projeto ter considerável importância nas atividades de laboratório, ele foi acrescentado neste documento.

Ainda, ressalta-se que todos os desenvolvimentos aqui apresentados aplicam-se ao Laboratório de Altas Frequências e Comunicações do Tronco Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia Mauá.

## Materiais e Métodos

No desenvolvimento das atividades, um primeiro princípio adotado foi: “Terminar um projeto antes de iniciar outro”.

Neste sentido, na primeira etapa dos trabalhos, procedeu-se com a conclusão do projeto e implementação da fonte para diodo Gunn, incluindo os testes finais na aplicação real.

Em seguida, iniciou-se a reabilitação do protótipo para ensaio automatizado de antenas, constituído pela planta com mastro para a antena a ensaiar, circuitos eletrônicos de controle e programa de computador associado.

As subseções seguintes descrevem as duas frentes de trabalho.

### Fonte para diodo Gunn

Para a realização dos testes e ensaios com o diodo Gunn, era necessário uma tensão contínua para alimentá-lo e um trem de pulsos para que pudesse ser transmitida alguma informação. Com tais requisitos e pelas propriedades do diodo Gunn de interesse, as seguintes características da fonte foram propostas:

- Tensão de saída contínua, ajustável de 8 a 12 V.
- Capacidade de fornecer corrente de até 1 A.
- Opção de modulação interna tipo ON-OFF, com frequência ajustável de 600 Hz a 1400 Hz.
- Opção de modulação externa tipo ON-OFF, compatível com nível lógico TTL.
- Opção de desligar a saída sem desligar a fonte (RF OFF).

O esquema elétrico da fonte desenvolvida encontra-se na Figura 1. Neste há quatro blocos funcionais que são responsáveis por gerar sinais com características distintas. O primeiro constitui um circuito básico de uma fonte de tensão linear, composto por um transformador, retificador, filtro, regulador de tensão e um transistor de passagem. Ao circuito da fonte, foram associados outros blocos, a saber: um oscilador astável com o CI (circuito integrado) LM555, de frequência ajustável; um opto-acoplador para a entrada da modulação externa; e uma chave que seleciona o modo de operação da fonte. As funcionalidades do regulador de tensão U2 adotado, o LM317 - ver National Semiconductors (2005) - permite que todos os blocos da fonte trabalhem como desejado. Utilizado-o como um regulador ajustável, associou-se um transistor de controle Q1 a este regulador (ver a Figura 1). O transistor foi projetado para operar em dois estados: um estado de saturação, no qual forçará o regulador a fornecer apenas uma tensão residual de 1,2V, insuficiente para excitar o diodo Gunn; e, um estado de corte,

em que o regulador fornecerá um nível de tensão contínuo ajustável. A tensão é ajustada por meio de um trimpot RV4 e de um potenciômetro RV3, sendo que o trimpot é utilizado para definir o valor máximo de saída e o potenciômetro fornece o ajuste possível ao usuário. Com isto, evita-se que o diodo seja danificado.

A modulação interna tipo ON-OFF da saída foi obtida ao se saturar ou cortar o transistor de controle Q1 por meio do oscilador astável. Semelhantemente, a modulação externa tipo ON-OFF foi obtida ao se comutar o mesmo transistor por meio do opto-acoplador U3. O ajuste da frequência de oscilação do astável com LM555 é realizado pelos potenciômetros RV1 e RV2 - ver National Semiconductors (2000) - os quais, por sua vez, compartilham o mesmo eixo mecânico, a fim de sempre se gerar um ciclo de trabalho de 50% (trata-se de um potenciômetro duplo).

Finalmente, através da chave seletora SW-ROT-4, conforme mostrado na Figura 1, pode-se selecionar para a saída da fonte um dos sinais desejados. A primeira posição deixa a fonte na opção de RF OFF; a segunda, seleciona a tensão contínua; a terceira fornece na saída a onda quadrada de frequência ajustável, proveniente da modulação interna; e a quarta posição permite ser gerado outro sinal de onda quadrada, controlado por um gerador externo à fonte. Em todos estes modos de funcionamento, a amplitude poderá ser ajustada por meio do potenciômetro RV3, salvo o caso em que a fonte se encontra no estado RF OFF.

#### Automatização de Ensaio de Antena

A planta a ser atendida, assim como o diagrama em blocos do sistema associado, para a realização do ensaio automatizado de antenas encontra-se na Figura 2.

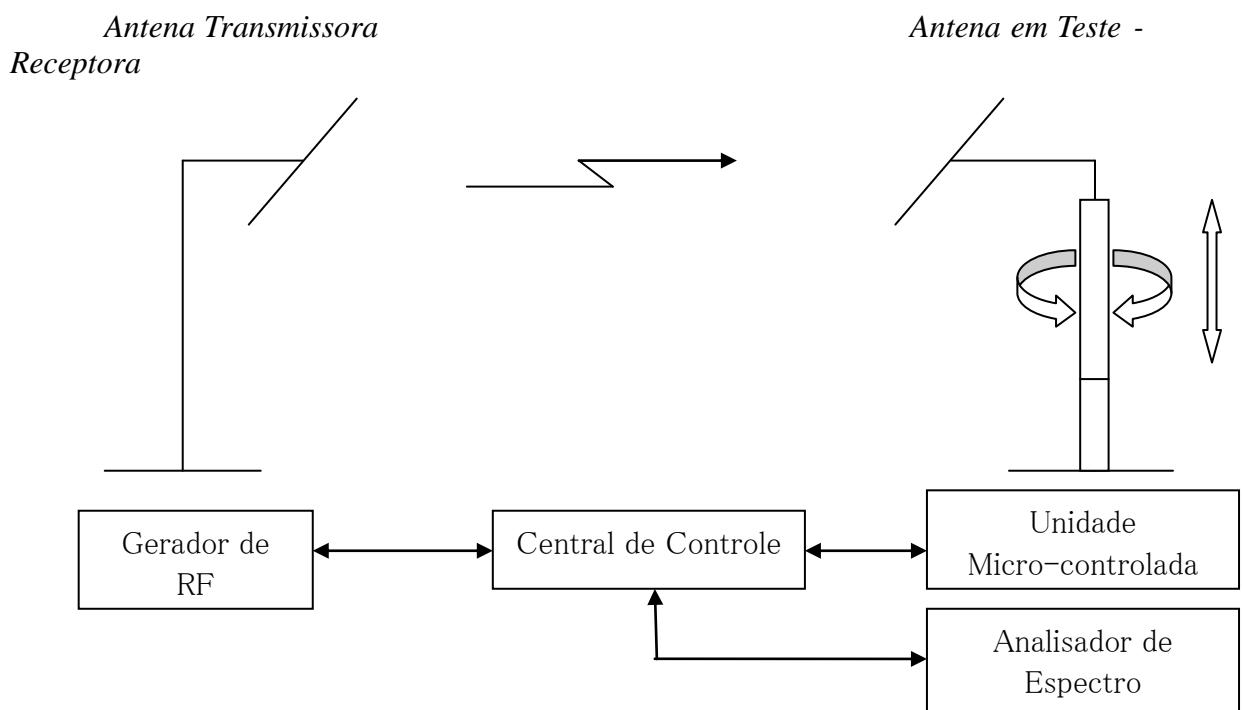


Figura 2: Planta do protótipo para ensaio de antena e diagrama em blocos do sistema associado.

Na Figura 3, tem-se uma topologia em camadas do sistema para ensaio de antena.

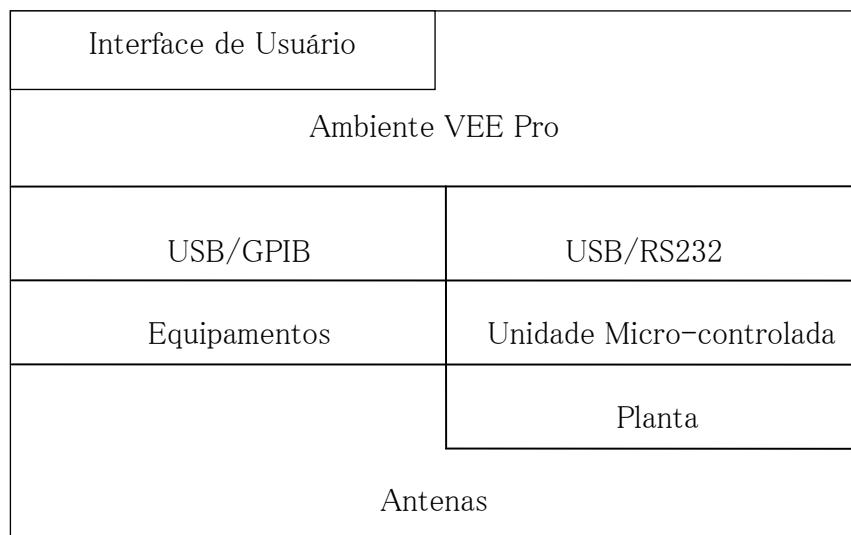


Figura 3 Topologia em camadas do sistema para ensaio de antena.

Conforme pode ser visualizado nas figuras 2 e 3, o sistema consistirá de uma central de controle implementada num micro-computador e que comandará todo o processo através do VEE Pro - que se trata de um programa desenvolvido pela Agilent Inc. com o objetivo de controlar equipamentos de geração e medida de sinais de RF.

No VEE Pro residirá a interface, amigável, com o usuário que lhe permitirá definir todas as propriedades do ensaio, realizar o ensaio propriamente dito e registrar os resultados.

A comunicação deste programa com os equipamentos de RF ocorrerá por meio do barramento GPIB (*General Purpose Interface Bus*) e com a parte mecânica da planta por meio da porta serial, a fim de enviar instruções para a unidade micro-controlada.

Dessa forma, o sistema poderá transmitir um sinal RF pela antena transmissora, alterar a posição da antena em teste, registrar o sinal por ela recebido e construir o diagrama de irradiação resultante.

A metodologia adotada de desenvolvimento para a automatização de ensaio de antenas consistiu, num primeiro momento, do reconhecimento e estudo do que já se encontrava implementado no protótipo desenvolvido pelos trabalhos citados na seção

“Introdução”. Em seguida, realizaram-se as revisões, reparos e adaptações para as novas propostas, explanadas ao longo dos descriptivos abaixo. Salienta-se, contudo, que o objetivo foi obter um protótipo funcional para a realidade atual, conforme apontado pela Figura 3, sobretudo ao que tange a interface usuário/sistema e microcomputador/equipamentos e o emprego de microcontrolador mais comumente utilizado pela Escola.

Assim, procedeu-se com a revisão da estrutura mecânica do mastro, identificando-se as necessidades de reparos.

Na sequência, fez-se uma análise da fiação dos sensores e sinais de atuação do mastro, testando-se sua condutividade e estudando-se uma nova forma de reposicioná-los para uma melhor organização lógica e visual.

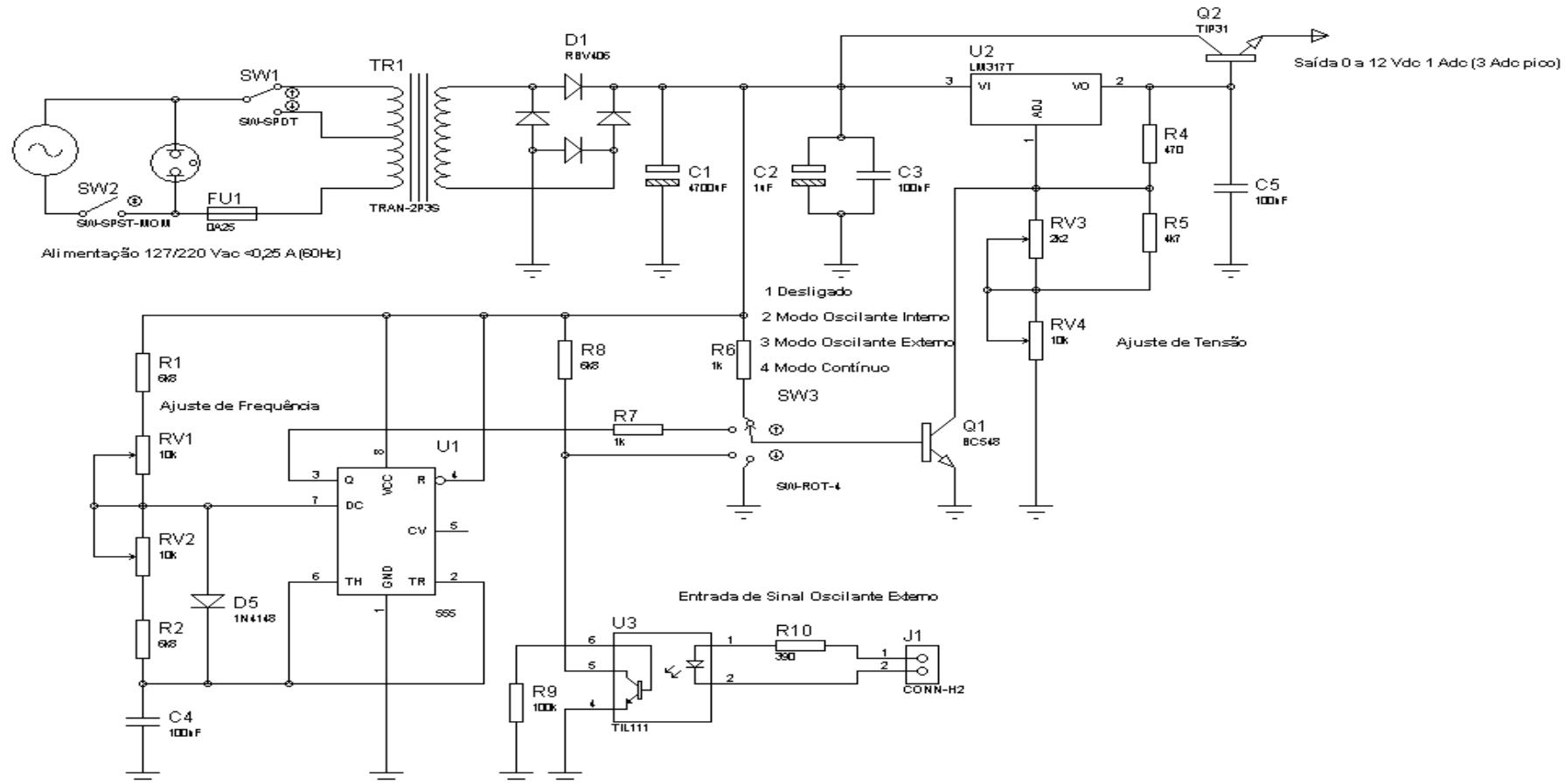


Figura 1: Esquema elétrico da fonte para diodo Gunn.

Depois, identificaram-se os circuitos eletrônicos já existentes, cada um correspondendo a um módulo:

- a) controle do motor de elevação;
- b) *driver* para motor-de-passo;
- c) relés;
- d) condicionamento dos sensores;
- e) controle principal micro-controlado.

Os módulos de a) a d) foram testados, juntamente com a verificação da correta atuação dos sensores. Para o módulo e), por sua vez, foi detectada a necessidade de uma adaptação para substituir o micro-controlador existente AVR90S8515 pelo micro-controlador PIC16F877A, pois o primeiro se encontra obsoleto e o segundo é amplamente utilizado nas atividades da Escola.

Na sequência, definiu-se a proposta de se desenvolver o programa do microcontrolador PIC em linguagem C, utilizando como compilador o SDCC (*Small Device C Compiler*). Este é um compilador gratuito disponível no servidor da SourceForge (<http://sdcc.sourceforge.net>) e que disponibiliza suporte para programação de diversos dispositivos microcontroladores, como os PICs da família 12F/CXXXX, 16F/CXXXX e 18F/CXXXX, o MCS51 (derivado do 8051 da Intel), AVR, Z80, entre outros.

Ressalta-se aqui que a versão gratuita do MPLAB não tem suporte para programação em C das famílias 12F/CXXXX e 16F/CXXXX.

Para a simulação, foi adotado um simulador também gratuito: o GPSim. Este é uma ótima ferramenta de simulação para os programas feitos, capaz de depurar tanto a versão em C quanto a em *assembly*, gerada pelo compilador.

A geração do código binário para ser gravado no microcontrolador (arquivo .hex) foi obtido por um pacote de ferramentas para compilação e ligação de código *assembly*, o GPUUtils – o qual também é gratuito.

Resumindo estas etapas, o SDCC traduz o código C para *assembly* e o GPUUtils, por meio de seu compilador GPAsm e de seu ligador GPLink, gera o arquivo binário em formato .hex.

O MPLAB, atualmente disponibilizado nos microcomputadores da Escola, foi apenas utilizado para gravar o programa no microcontrolador. Contudo, tem-se conhecimento de que existem programas gratuitos que bem realizam esta tarefa – mas estes ainda não foram experimentados.

Dadas tais ferramentas, procedeu-se com a implementação do programa para o microcontrolador de forma a realizar as operações de rotação, elevação e abaixamento.

Em seguida, alguns dados mecânicos foram levantados: altura mínima e máxima, excursão, altura da base, resolução de rotação e erro de posicionamento da rotação.

Na próxima etapa do trabalho, será desenvolvida a comunicação entre o microcontrolador e o micro-computador, via interface serial/USB, para que o sistema micro-controlado seja comandado pelo VEE Pro.

#### Material Utilizado e Programas:

- Base mecânica com haste e motores, para elevação e rotação da haste.
- Microcontrolador PIC 16F877A da Microchip
- Microcomputador
- Acessórios Diversos
- Microchip MPLAB IDE
- SDCC
- GPUUtils
- GPSim

## Resultados e Discussão

### Fonte para diodo Gunn

Dados os objetivos propostos e teminado o processo de confecção da fonte, foram obtidos os resultados de ensaio relatados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de ensaio da fonte para diodo Gunn.

<i>Tópico</i>	<i>Valor</i>	<i>Observação</i>
Excursão de Vs(tensão de saída)	~4,4V	Sem carga
Potenciômetro Interno no Mínimo	0V ~ 4,3V	A meia carga (0,5A)
Potenciômetro Interno no Máximo	16,8V (não há excursão)	Em vazio
Ajuste Efetuado	6,7V ~11,1V	Em vazio
Ajuste Efetuado	6,3 V ~10,7V	A meia carga (0,5A)
Frequência de Oscilação	730Hz ~1750Hz	Vs = 7,0V Is = 0,46A $\tau = 50\%$

Observando os resultados experimentais constatou-se que, quando o potenciômetro interno RV4 (ver Figura 1) de ajuste de tensão é colocado no mínimo, tem-se um intervalo de valores de amplitude com uma largura de aproximadamente 4,4V, o que era esperado, já que a fonte deveria apresentar a excursão de 4V (entre 8V e 12V). Quando colocado no máximo, o regulador de tensão ficará totalmente “saturado”, fornecendo a tensão máxima na saída da fonte.

Por motivos de teste e análise melhor análise das características do diodo, o potenciômetro interno RV4 foi ajustado de forma que o intervalo de tensão ficasse entre 6,7V e 11,1V em vazio e 6,3V e 10,7V a meia carga.

A frequência de oscilação ficou com excursão próxima à esperada, aceitável para o projeto. Ressalta-se que o importante é ser possível definir a frequência de 1 kHz, necessária para a sintonia de alguns equipamentos de medida.

Quando a fonte trabalha em estado de oscilação, modulação ON-OFF, devido à presença de capacitâncias no circuito, algumas parasitas, a tensão de saída apresenta uma leve distorção, com forma semelhante à da curva de descarga de um capacitor. Contudo, quando a carga é conectada, a forma de tensão de saída fica quadrada, sem distorções consideráveis. Isto ocorre porque a carga auxilia o “capacitor equivalente” a se descarregar.

Quando a fonte trabalha de forma a oscilar segundo um gerador externo, a tensão de saída acompanha os padrões aplicados. A amplitude, por sua vez, ainda continua controlada pela fonte.

### Automatização de Ensaio de Antena

Levando-se em conta o tempo de trabalho reduzido em virtude deste trabalho ter sido aprovado mais tarde e em decorrência do projeto da fonte para o diodo Gunn ter sido iniciado anteriormente ao início real deste, apenas algumas etapas foram concluídas. Porém, salienta-se que as atividades continuarão até a conclusão do protótipo, mesmo após o período de vigência deste trabalho de iniciação científica, caso seja necessário.

De forma resumida, as atividades realizadas podem ser expressas por:

- Reabilitação da planta mecânica pré-existente;
- reabilitação do hardware de controle e potência;
- adequação do hardware para a utilização do microcontrolador PIC16F877A;
- reorganização do cabeamento da planta;
- reimplementação e reestruturação do cabeamento das placas, bem como seus conectores;
- estudo da linguagem C;

- implementação de um algoritmo para controle da planta mecânica (com base nos trabalhos de graduação);

Estudando-se a situação dos materiais já disponíveis de trabalhos de graduação de Cestari *at al* (2002) e Souza *at al* (2003), constatou-se que tais materiais ainda estavam em condições de serem aproveitados, quanto à topologia adotada e quanto às informações dos circuitos eletrônicos implementados.

Os motores de elevação e rotação do mastro foram testados e movimentaram o mastro de forma adequada. Também os sensores comportaram-se corretamente quando acionados. Os circuitos existentes também apresentaram-se funcionais e ainda correspondiam às necessidades. O módulo de controle foi adaptado para receber o microcontrolador PIC, com apenas algumas alterações nas trilhas da placa. O módulo de controle do motor de elevação foi devidamente testado e executou as operações como esperado. O *driver* do motor-de-passo também funcionou corretamente.

Todo cabeamento existente foi reorganizado ou, eventualmente, substituído, resultando numa solução visual e lógica mais adequada para atender aos requisitos de interligação interna dos circuitos e destes com a planta do protótipo, pois o cabeamento existente estava velho, oxidado e desorganizado.

Seguindo as atividades, foi realizado um estudo estruturado sobre linguagem C para a implementação dos programas a serem utilizados no microcontrolador. O estudo foi sucinto, com objetivo de desenvolver a prática de programação em C em um tempo relativamente curto, mas com conhecimento necessário para implementar ou entender os programas de controle do microcontrolador. Neste estudo, foi abordado desde a sintaxe até uma estruturação mais elaborada da linguagem, como estruturas de decisão, laços de repetição, ponteiros, etc.

Um programa em linguagem C foi desenvolvido para controlar o mastro, de forma a tornar possível fazer com que o mastro suba, desça e seja rotacionado.

A comunicação serial ainda não foi desenvolvida, contudo já foram feitas algumas pesquisas iniciais a respeito.

Por fim, para um melhor conhecimento da parte mecânica da planta, foram levantados os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados da parte mecânica da planta, referentes à altura e rotação do mastro.

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Altura mínima	2,20m
Altura máxima	3,00m
Rotação	360°
Deslocamento por pulso	0,75°
Erro de posicionamento	desprezível

## Conclusões

Quanto à fonte para diodo Gunn, atingiram-se os objetivos esperados, de forma que ela possa ser utilizada como equipamento de trabalho no Laboratório de Altas Frequências e Comunicações. O diodo Gunn, por sua vez, operou corretamente quando alimentado pela fonte.

Quanto ao ensaio automatizado de antenas, pode-se dizer que, apesar do prazo ligeiramente restrito, uma importante etapa dos objetivos gerais foi alcançada, sendo a de colocar o protótipo em uma situação que pudesse ser utilizado. Por conseguinte, a parte que finaliza o projeto ainda encontra-se pendente, mas em andamento.

Nota-se que o desenvolvimento do protótipo de ensaio automatizado de antenas, além de ser um desenvolvimento de base para a planta externa de ensaio, ainda possibilitará que seja utilizado

em demonstrações a alunos e visitantes da Escola.

Em suma, os resultados, quanto às implementações, foram positivos e próximos aos esperados.

## Referências

- Cestari, E; Santos, L.P; Trevizan, M.P; Camargo, M.A; Fernandes, M.R. (2002) *Automatização de Ensaio de Antenas*. Trabalho de graduação. São Caetano do Sul, SP: Escola de Engenharia Mauá.
- Souza, A.D.C.D; Koja, D; Silva, F.M; Tsubamoto, H.T; Steluti, M. (2003) *Automação de Ensaio de Antenas e de Compatibilidade Eletromagnética*. Trabalho de graduação. São Caetano do Sul, SP: Escola de Engenharia Mauá.
- Herbert, S. (1997) *C Completo e Total*. 3<sup>a</sup> edição. Makron Books.
- Microchip Technology Inc. (2003) *PIC16F87XA Data Sheet*.
- National Semiconductors (2000) *LM555 Timer Data Sheet*.
- National Semiconductors (2005) *LM117/LM317A/LM317 Data Sheet*.
- DUTTA, S. *SDCC Compiler User Guide*. Disponível em <<http://sdcc.sourceforge.net>>.