



O APRENDIZADO DA METROLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO BASEADO NA EXPERIMENTAÇÃO

Vicente Machado N. – vmachado@cefetpr.br

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET –PR

Endereço: Av Sete de Setembro, 3165 Centro

CEP 80230-901 Curitiba Paraná

Resumo: *O objetivo do artigo é mostrar como pode ser implementado um aprendizado de Metrologia e Instrumentação baseado na experimentação. O aprendizado deu-se dentro da disciplina de Medidas Elétricas II do curso de Engenharia Industrial Elétrica – ênfase Eletrônica e Telecomunicações do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – Unidade Curitiba - CEFET-PR.*

Apresenta-se uma contextualização sobre os domínios do aprendizado e a correlação da experimentação baseada em problemas abertos, com os níveis mais altos de aprendizado (análise, síntese e avaliação). Segue-se a apresentação do contexto atual do CEFET-PR, e o movimento de modernização do currículo e da metodologia de ensino.

A seguir concentra-se a atenção na forma como a disciplina de Medidas Elétricas II está sendo ministrada, e seu enfoque baseado na experimentação. Por último detalha-se a forma dos trabalhos finais da disciplina incluindo a apresentação de casos práticos. Os casos práticos são trabalhos apresentados como trabalhos finais da disciplina pelos alunos, sendo o primeiro sobre um “Medidor de Distâncias com Ultra-Som” e o segundo um “Medidor de Capacitância”. O nível dos trabalhos apresentados comprova a eficácia do método adotado, que teve uma forte participação dos alunos com resultados além do esperado.

Palavras-chaves: *aprendizado experimental, medidas elétricas, metrologia.*

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL

Diversas classificações foram publicadas na tentativa de documentar a seqüência de etapas seguidas pelos estudantes no processo de aprendizado. Provavelmente o estudo mais familiar e conhecido é o de Bloom para o domínio cognitivo, conforme BLOOM (1972). Os estudos seguiram para os domínios afetivo, psicomotor, e o experimental. Cada um dos domínios propostos segue os níveis de sofisticação crescente do aprendizado, do começo de sua consciência ao limite da mudança comportamental.

Assim a trajetória do aprendizado pode ser sumariada em cinco ou seis níveis principais. A Tabela 1 mostra um sumário dos níveis para cada um dos domínios. O objetivo aqui é meramente fornecer uma interpretação simplista, ao menos para dar alguma credibilidade à lógica envolvida no desenvolvimento de uma atividade de aprendizado eficaz.

Os primeiros três níveis na tabela de classificação em cada um dos domínios podem ser interpretados como as atividades de aprendizado em nível da criança. Isto é, esses níveis têm uma orientação específica de treinamento, para obter as habilidades de repetição e de uso. Esses três níveis envolvem a manipulação, a formação do hábito e atividades sem julgamento.



Os níveis IV, V, e VI da Tabela 1 podem ser interpretados como atividades de aprendizado do adulto. Eles envolvem habilidades mentais complexas que são requeridas na Tabela 1 – Tabela de classificação dos domínios com os respectivos níveis HARRISBERGER et al (1976).

| Nível | Cognitivo | Afetivo | Psicomotor | Experimental |
|------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| I | Conhecimento | Receber (atenção) | Percepção | Exposição (compreensão) |
| II | Compreensão | Responder (voluntariedade) | Jogo (voluntariedade) | Participação (aplicação) |
| III | Aplicação | Avaliar Compromisso (aceitação) | Resposta guiada (execução) | Identificação (envolvimento) |
| IV | Análise | Organização (importância) | Resposta mecânica (hábito) | Internalização (adoção) |
| V | Síntese | Caracterização (adoção) | Resposta condicionada (perfeição) | Disseminação (compromisso) |
| VI | Avaliação | | | |

síntese, na combinação, e na transferência e adaptação do conhecimento de uma situação para outra, com habilidade e sofisticação. Para simplificar os níveis I, II e III envolvem treinar e os níveis IV, V e VI envolvem a educação.

Nos três níveis superiores vê-se algumas sobreposições e correlações entre os níveis cognitivos de análise, síntese, e avaliação e os níveis correspondentes nos outros três domínios. Em quaisquer dos domínios os níveis superiores envolvem a aplicação de habilidades que foram obtidas nos três primeiros níveis. É nos três níveis superiores no entanto, que se desenvolvem os atributos de tomada de decisão e de solução de problemas, atributos buscados e valorizados nos graduados de engenharia e de outras escolas profissionais. Esses são os atributos que são desenvolvidos pela prática experimental dos engenheiros.

Essas habilidades sofisticadas requerem atividades de aprendizado, que têm um componente de interação com situações reais, abertas, complexas, desestruturadas e às vezes indefinidas. Elas requerem uma atividade mental da mais alta classificação na hierarquia de aprendizado de Gagne, que é a solução de problemas ou a aplicação de princípios, veja Tabela 2. Nesse nível de aprendizado o professor faz o papel do técnico, mentor, tutor, consultor, o que é oposto ao do instrutor treinador dos três níveis inferiores. Como os atributos desejados nas atividades de aprendizado dos três níveis superiores são essencialmente derivados do envolvimento do estudante na solução de problemas complexos e atividades de decisão, conclui-se que uma atividade prática experimental é relevante e talvez uma componente necessária no programa de aprendizado.

1.1 Objetivos do aprendizado experimental

Um programa de aprendizado que vise os três níveis superiores da hierarquia do

Tabela 2 – Classificação da hierarquia do aprendizado segundo Gagne - HARRISBERGER et al (1976).

| | | |
|------------|---------------|------------|
| I | Resposta | Imitar |
| II | Associação | Nome |
| III | Descriminação | Selecionar |



| | | |
|-----|----------------------|--------------------|
| IV | Encadeamento | Ordenar |
| V | Classificação | Identificar |
| VI | Princípios | Aplicar regras |
| VII | Solução de Problemas | Aplicar princípios |

aprendizado, tem o potencial de acomodar e reforçar as habilidades e atributos que são buscados na educação experimental. As seguintes habilidades e atributos podem ser reforçados com um programa de aprendizado experimental: habilidade de resolver problemas; consciência interpessoal; expressão criativa; habilidade de comunicação; habilidade técnica; auto confiança; aplicação dos fundamentos da engenharia; habilidades de organização; habilidades de liderança; habilidades de planejamento; ética profissional e habilidade de julgamento de engenheiro.

Em adição a esse inventário de habilidades e atributos, há várias classes de habilidades operacionais, que são reforçadas pela atividade de aprendizado experimental:

- a) Habilidades da razão: como fazer isto, sem conhecer como; como ir em frente de qualquer forma; como obter alternativas; como capitalizar seus recursos, dos seus colegas e de outras fontes; como tomar uma decisão e desenvolvê-la;
- b) Praticidade: aprender rapidamente, julgar e ser direto; buscar as causas e não os efeitos; como fazer simples e prático; como fazer a baixo custo e em tempo; como fazer seguro e confiável; como fazer o produto vendável;
- c) Trabalho em equipe: como dividir o trabalho; como obter alguém para fazer isso; como lidar com as pessoas;
- d) Habilidades empreendedoras: como capitalizar uma oportunidade; como negociar e obter acordos; como ser um empreendedor, como obter aquilo feito de qualquer forma; como falhar e capitalizar mesmo assim;
- e) Habilidade de homem de negócios: como conversar com alguém; como convencer um cético; como obter recursos financeiros; como se tornar creditável.

1.2 Modelos de aprendizado

Os vários modelos de aprendizado experimental podem ser divididos em dois grupos: Simulação e Envolvimento Autêntico. A simulação consiste em planejar situações cuidadosamente para alcançar determinados objetivos de aprendizado em um ambiente controlado. Enquanto as atividades de envolvimento autêntico expõe o estudante a situações reais, com resultados imprevisíveis, embora a formação possa influenciar na seleção de situações e determinar critérios de performance para assegurar que um aprendizado positivo seja alcançado.

Atividades simuladas de aprendizado experimental são baseadas em sala de aula ou laboratório, são muito usadas como atividades de aprendizado, alguns modelos são utilizados:

- a) Laboratório Experimental;
- b) Projeto Direcionado;
- c) Estudo de Casos;
- d) Jogos.

Atividades de envolvimento autêntico são tiradas completamente de situações reais. Essas envolvem um cliente que tem uma necessidade real de obter uma solução que não está ainda bem determinada. Alguns modelos incluem:

- a) Estágios;
- b) Consultoria;
- c) Centros de Projeto.



2. CONTEXTO ATUAL DO CEFET-PR

Há mais de duas décadas, como Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET), o CEFET-PR vem se dedicando à educação tecnológica, no sentido mais amplo, tendo neste período expandido suas atividades de ensino, pesquisa e extensão à região metropolitana de Curitiba e a várias regiões do interior do Paraná.

Hoje o CEFET-PR é uma instituição federal de ensino que conta com cerca de 13.000 alunos, 1250 professores e 530 administrativos distribuídos em seis unidades de ensino: Campo Mourão, Cornélio Procopio, Curitiba, Medianeira, Pato Branco e Ponta Grossa.

Na unidade de Curitiba o curso de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrônica / Telecomunicações é uma referência em termos de ensino, tendo obtido conceito A por dois anos consecutivos. As últimas revisões curriculares do curso feitas em 2000 e 2001, procuraram introduzir algumas modificações curriculares entre as quais pode-se destacar:

- a) Forte ênfase na formação em Informática;
- b) Forte formação humanística;
- c) Introdução dos estágios orientados;
- d) Introdução dos trabalhos de final de curso, no qual visa-se construir um produto que possa ser colocado no mercado;
- e) Introdução das áreas de concentração, onde o estudante pode se especializar em uma determinada área (Controle, Digital, Biomédica, Informática, Telecomunicações, Automação Industrial) à sua escolha.

No entanto os métodos atuais de avaliação são basicamente provas em um número de duas por semestre, a parte experimental de laboratório quando existe em uma disciplina, não é dada muita importância. Ocorrem nessa problemas de defasagem entre teoria e prática, o que faz com que o aluno venha para o laboratório muitas vezes sem ter visto a parte teórica. Pouco entrosamento entre o professor da teoria e da prática, faz com que muitas vezes um não saiba o que o outro está ministrando. Pouco valor é dado à parte experimental, normalmente 30% da nota final, assim pode um aluno tirar zero na parte experimental e mesmo assim passar por média na disciplina.

2.1 Mudança de mentalidade

Em agosto de 2002 iniciou-se dentro do CEFET-PR estudos para a confecção do Projeto Político Pedagógico Institucional, com a nomeação de uma comissão. Diante dessa nova orientação foram formados outros grupos para implementação dos Planos Políticos Pedagógicos dos cursos, embora que o projeto institucional ainda continuasse em andamento. Assim em fevereiro de 2003 foi formada uma comissão para elaborar o PPP do curso de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrônica / Telecomunicações.

Novas idéias e situações têm sido debatidas em nível dessa comissão, podendo-se destacar as apresentadas na Tabela 3.

Por enquanto se está procurando chegar a um consenso em nível da comissão, para futuramente apresentar as propostas para todos os professores do curso, buscando-se melhorar ainda mais o plano com as sugestões do grande grupo. Destaca-se o desafio de convencer o grande grupo a aceitar as novas idéias e aplica-las em suas aulas, para que possamos realmente implementar as propostas de modernização.



3. DISCIPLINA DE MEDIDAS ELÉTRICAS

Dentro dessa nova filosofia procurou-se na disciplina de Medidas Elétricas II dar um enfoque de aprendizado baseado na experimentação.

A ementa da disciplina de Medidas Elétricas II inclui o seguinte conteúdo:

- a) Noções de Metrologia incluindo vocabulário internacional de metrologia (VIM), estrutura metrológica brasileira e internacional, calibração de instrumentos de medição, erros de medição e cálculo da incerteza da medição;

Tabela 3 – Idéias e tendências discutidas na modernização do ensino.

| | |
|---|--|
| 1) Ensino baseado em projetos; | 13) Cultura empreendedora; |
| 2) Intercambio educacional (ambiente multicultural); | 14) Educação à distância; |
| 3) Aprender a aprender; | 15) Linhas de especialização no currículo (currículo flexível); |
| 4) Tempo em sala de aula; | 16) Perfil do egresso (flexibilidade); |
| 5) Figura do tutor do aluno; | 17) Dedicção ao aluno / professor ao curso; |
| 6) Reconhecimento do curso em outros países e pelas instituições nacionais; | 18) Redução do tempo dos cursos; |
| 7) Interdisciplinariedade; | 19) Ética profissional; |
| 8) Preocupações com o social; | 20) Criatividade; |
| 9) Ensino participativo; | 21) Habilidades interpessoais; |
| 10) Intercâmbio com a pós-graduação; | 22) Redução do tempo em sala de aula; |
| 11) Educação continuada; | 23) Problemas legais com Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura – CREA. |
| 12) Intercâmbio com as empresas; | |

- b) Sensores dos diferentes tipos de grandezas físicas;
- c) Instrumentos de Medição de uso laboratorial e de chão de fábrica;
- d) Conversores A/D e D/A;
- e) Circuitos de sistemas de aquisição de dados, incluindo amplificadores operacionais e de instrumentação;
- f) Interfaces e sistemas de automatização da instrumentação.

Como se pode ver a disciplina possui basicamente dois enfoques, o primeiro de apresentar noções de confiabilidade metrológica e o segundo de apresentar circuitos e componentes utilizados na amplificação, tratamento e captura de sinais, sendo que um complementa a proposta do outro. A integração dos conteúdos dos diferentes enfoques é feita via determinação da incerteza de medição, e erros presentes em todos os tópicos abordados.

3.1 Avaliação dentro da disciplina de Medidas Elétricas II

Os novos métodos de avaliação dos alunos dentro da disciplina não visam diminuir o nível de exigência em termos de dedicação à disciplina, mas sim maximizar a compreensão dos assuntos. Assim busca-se uma avaliação eminentemente experimental, na qual os alunos são obrigados a aplicar todos os conceitos teóricos na solução de problemas abertos.

A nova avaliação é composta de três trabalhos teórico / práticos que valem 50% da nota final, experiências de laboratório e um trabalho final que valem os outros 50% da nota. A Tabela 4 apresenta detalhes dos trabalhos teórico práticos propostos neste semestre.

A Tabela 5 apresenta os detalhes do programa de laboratório incluindo o trabalho final que será detalhado mais adiante. Maiores detalhes consulte o site, na opção alunos CEFET <http://planeta.terra.com.br/educacao/machado/> .



Tabela 4 – Detalhamento dos trabalhos Teórico-Práticos da disciplina de Medidas II.

| |
|--|
| Trabalhos Teórico / Práticos – (50% da nota final) |
| 1º TTP – Calibração de um instrumento de medição. (peso 1/3) |
| 2º TTP – Determinação da incerteza de medição de um mensurando. (peso 1/3) |
| 3º TTP – Pesquisa dos diferentes instrumentos de medição empregados nas áreas elétrica e mecânica. (peso 1/3) |

Tabela 5 – Detalhamento das experiências de laboratório e do trabalho final.

| |
|---|
| Experiências de Laboratório e Trabalho Final – (50% da nota final) |
| Experiência 1: Amplificadores Operacionais. (peso 1/8) |
| Experiência 2: Circuitos utilizados na instrumentação. (peso 1/8) |
| Experiência 3: Circuitos de tratamento de sinais. (peso 1/8) |
| Experiência 4 e 5: Conversores A/D e D/A – (peso 2/8) |
| Trabalho Final da Disciplina – (peso 3/8) Construção prática de um dos seguintes dispositivos: Instrumento de Medição, incluindo sensores, circuitos de tratamento e indicadores; Controlador de um processo industrial; Interface de um instrumento – com sistema de medição ou de controle; outros dispositivos sob consulta |
| <u>Habilidades e Competências Desenvolvidas:</u> <ul style="list-style-type: none">- Avaliação de custos;- Medição de parâmetros; - Pesquisa;- Montagem de circuitos; - Desenvolvimento;- Uso de instrumentos de medição; - Determinação das principais incertezas;- Trabalho em equipe; - Defesa oral do trabalho;- Escrita de relatórios técnicos; - Determinação da incerteza de medição;- Calibração do instrumento / produto. |

4. TRABALHO FINAL DA DISCIPLINA

Os trabalhos finais devem fazer o fechamento e aplicação prática de todos os conceitos vistos na disciplina. Algumas orientações são dadas para os alunos na execução dos trabalhos finais:

- a) O trabalho deve ser inédito, ou seja não pode ter sido apresentado em outra disciplina, mesmo que pequenas modificações tenham sido implementadas;
- b) Gaste o seu tempo com alguma coisa que lhe dê prazer ao fazer, com a qual voce possa se orgulhar de ter feito;



- c) Lembre-se que as melhores coisas exigem que se assumam riscos e responsabilidade pelo que se faz, não tente querer enganar o professor e a si mesmo, preocupe-se em aprender a pesquisar e a trabalhar em equipe, será uma lição para toda a sua vida;
- d) Os trabalhos serão avaliados não apenas pelo funcionamento de acordo, mais vale um trabalho complexo no qual não se chega exatamente ao pretendido, do que um trabalho simples funcionando corretamente;
- e) Lembrem muita coisa ainda precisa ser feita no mundo, acredite nas suas idéias, esse trabalho pode ser o embrião de um projeto que fará muito sucesso no mercado.

4.1 Descritivo do trabalho pretendido

Alguns itens devem ser pesquisados e fazerem parte do relatório e da apresentação:

- a) Descrição;
- b) Tecnologias críticas do trabalho, que exigirão maiores pesquisas e trabalho;
- c) Princípio de funcionamento, princípio físico envolvido;
- d) Diagrama de blocos;
- e) Utilidade prática do trabalho;
- f) Objetivos;
- g) Forma de calibração do instrumento quando for o caso;
- h) Incertezas esperadas, levantar possíveis fatores que influem na medição feita pelo produto / instrumento, tais como: temperatura, tensão da rede, umidade, etc...
- i) Avaliação dos custos do produto e perspectivas de comercialização;
- j) Produtos similares existentes no mercado;
- k) Conclusões dúbidas a serem respondidas com o trabalho.

5. CASOS DE TRABALHOS FINAIS

Apresenta-se aqui dois casos práticos de trabalhos finais dos alunos do segundo semestre de 2002. Pode-se observar o excelente nível dos trabalhos apresentados o que denota o envolvimento dos alunos, que aceitaram o desafio de construir coisas úteis para a sua formação, e não somente para obtenção da nota para passar na disciplina.

5.1 Medidor de Distâncias com Ultra-Som - CARNIERI et al (2003)

O objetivo deste trabalho é projetar um sistema de medição de distâncias utilizando-se transdutores de ultra-som.

Um medidor de distância com ultra-som, ou sonar, é comumente empregado em sistemas industriais. Sua utilização é vista também na indústria automotiva e até mesmo residencial. Medir distância com ultra-som requer um transdutor transmissor, um meio para a propagação das ondas sonoras, um objeto ou superfície refletora, um transdutor receptor e um circuito de medição do tempo de ida e retorno do sinal sonoro. A velocidade do som no ar é de aproximadamente 343 m/s a 20°C. Com essa informação e o tempo de propagação do sinal, a distância pode ser facilmente calculada.

Quatro fatores caracterizam a medição de distâncias com ultra-som:

- 1) A amplitude da onda sonora;
- 2) A textura da superfície refletora;
- 3) O ângulo de incidência da onda sonora na superfície refletora;
- 4) A distância mínima que pode ser medida.

Calibração



Para verificar o funcionamento do circuito, foram realizadas algumas medições. O seguinte procedimento foi adotado:

- a) Arbitra-se uma distância a partir dos transdutores e colocamos um obstáculo neste ponto, utilizando como sistema de medição padrão uma régua de aço graduada.
- b) Verifica-se o valor mostrado no LCD do sonar, que é uma média de 5 medições.
- c) Repetem-se os passos a) e b) até completar 10 ciclos de medição.

Resultados

Apresenta-se aqui mais detalhadamente os resultados obtidos pelo medidor com ultra-som para uma distância de 32 cm, sendo que outros dois pontos também foram verificados, ou seja 40 e 48 cm respectivamente.

A Tabela 6 apresenta os dados de tendência e repetitividade obtidos para os pontos calibrados.

A Tabela 7 apresenta a planilha de cálculo das incertezas do processo de calibração para o ponto de 32 cm. Observa-se aqui que outros fatores poderiam ser incluídos no cálculo das incertezas, optou-se apenas pela resolução do SMP (sistema de medição padrão – régua) e do SMC (sistema de medição a calibrar – medidor de ultra-som) além das incertezas do tipo A.

A Figura 1 apresenta as curvas de erros obtidas para os pontos calibrados. Nota-se que as incertezas do sistema ainda são grandes, o que demonstra que o circuito ainda precisa ser

Tabela 6 – Tendência e repetitividade obtidas para os pontos calibrados.

| DADOS PROCESSADOS | | | | |
|-------------------|------------|------------------------|-----------|-------------------------------------|
| Pontos | Régua (cm) | Média 10 med U.S. (cm) | Tendência | Rep (95%) - $\sigma.t_{95\%;9g.l.}$ |
| 1 | 32,0 | 33,320 | 1,320 | 0,104 |
| 2 | 40,0 | 40,864 | 0,864 | 0,452 |
| 3 | 48,0 | 49,019 | 1,019 | 0,243 |

Tabela 7 – Planilha de cálculo das incertezas da calibração para o ponto de 32 cm.

| INCERTEZA – PONTO 1 | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------|---------------|-------|--------------------|------------|------------|--------|----------|
| Componentes | | Efeitos sist. | | Efeitos Aleatórios | | | | |
| Símbolo | Descrição | Valor Bruto | Unid. | Valor bruto (cm) | Distrib. | div. | U (cm) | v |
| RE | Incerteza (Tipo A) | - | cm | 0,0145 | Normal | 1 | 0,0145 | 9 |
| U _{smc} | Resolução SMC | | cm | 0,01 | Retangular | $\sqrt{3}$ | 0,0058 | ∞ |
| U _{smp} | Resolução SMP | | cm | 0,10 | Retangular | $\sqrt{3}$ | 0,0577 | ∞ |
| U _c | Inc. Combinada | | | | Normal | | 0,0598 | 2605 |
| U | Inc. Expandida | | | | Normal | | 0,1196 | |

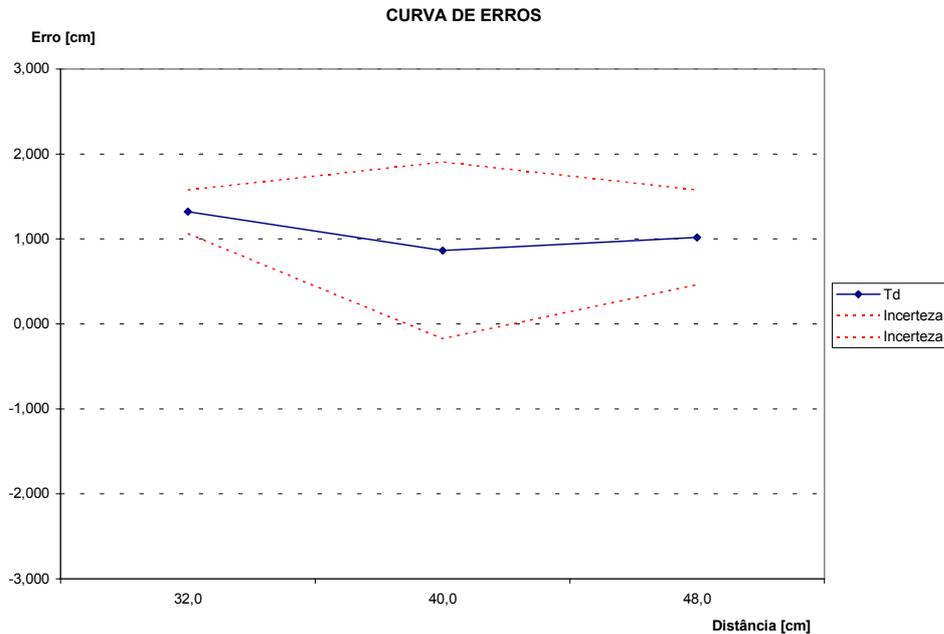


Figura 1 – Curva de erros obtida para os pontos de 32, 40 e 48 cm.

aperfeiçoado antes de tornar-se um produto comercial, mas atingiu plenamente os objetivos de um trabalho didático

5.2 Capacímetro digital microcontrolado - MARLON e TITERICZ (2003)

O projeto consiste em um equipamento capaz de realizar medições de capacitância na faixa compreendida entre 1nF à 1uF de capacitores encontrados comercialmente.

A implementação do circuito para esse instrumento de medição utilizou os seguintes componentes e sub sistemas:

- a) microcontrolador AT89C4051;
- b) timer 555;
- c) display LCD 16x1 caracteres;
- d) software;
- e) hardware auxiliar;

Diagrama de blocos do sistema

A Figura 2 mostra o diagrama de blocos do sistema.

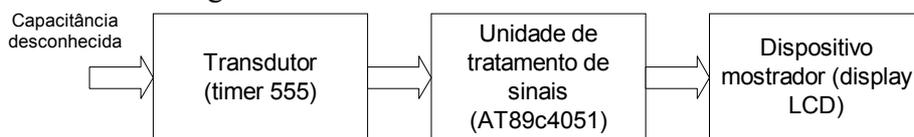


Figura 2 – Diagrama de Blocos do sistema de medição de capacitâncias.

Incertezas

As principais incertezas encontradas nesse circuito são oriundas do timer 555 e da velocidade de processamento do microcontrolador utilizado. O nível da tensão de alimentação e possíveis ruídos na alimentação não geram erros na saída do 555.

O timer 555 apresenta um *drift* com a temperatura de 0,015 % por °C (Tabela 8) acima de 25 °C. Apresenta também um *drift* de 0,3 % por volt, como o circuito foi projetado para funcionar com 5 V a uma temperatura de 25 °C o erro total devido às características do timer 555 é de no máximo 1,5 %, conforme Tabela 8.

O microcontrolador apresenta uma incerteza devido a sua velocidade. Como o período da oscilação é medido utilizando um timer interno do C.I., ele está limitado à frequência de operação do microcontrolador que é da ordem de 11,0592 MHz dividido pelo número de ciclos de clock utilizados por instrução, que é 12, ou seja, a frequência de operação real do timer do processador é de 921.600 Hz ou um período de $1,08507 \cdot 10^{-6}$ s por ciclo, e a incerteza gerada por isto é a metade do valor do período do ciclo de instrução, ou seja, é $542,535 \cdot 10^{-9}$ s. Este valor gera uma incerteza de no máximo $38,1625 \cdot 10^{-12}$ F.

Calibração

Para a escala de 1nF à μ F realizou-se 12 (doze) medições de capacitores compreendidos nesta faixa. Efetuaram-se 3 (três) ciclos de medição a fim de se avaliar a repetitividade do capacitmetro. Foi adotado o procedimento de calibração direto e progressivo. Temperatura ambiente de 24°C

Na Tabela 9 pode-se observar as incertezas que foram consideradas, ou seja, as resoluções do SMC e SMP e a incerteza Tipo A.

Tabela 8 – Incertezas do timer 555 segundo o fabricante.

| | | | |
|---------------------------|--|------|--------|
| Timing Error, Astable | R _A , R _B = 1k to 100k Ω C=0,1 μ F, (note 5) | 2,25 | % |
| Inicial Accuracy | | 150 | ppm/°C |
| Drift with Temperature | | | |
| Accuracy over Temperature | | 3,0 | % |
| Drift with Supply | | 0,30 | %/V |

Tabela 9 – Planilha de cálculo das incertezas para 2,2 nF.

| Incerteza de Medição – Ponto 2 (2,2 nF) | | | | | |
|---|----------|-------------------------------|------------|----------------|----------|
| Componentes da Incerteza | | Distribuição de Probabilidade | | U _i | g.l. |
| Fontes | \pm nF | Tipo | Divisor | | |
| Resolução do SMP | 0,0050 | Retangular | $\sqrt{3}$ | 0,0028 | ∞ |
| Resolução do SMC | 0,0400 | Retangular | $\sqrt{3}$ | 0,0231 | ∞ |
| Incerteza Tipo A | 0,0145 | Normal | 1 | 0,0145 | 2 |
| Incerteza Combinada | | | | 0,0274 | |
| V_{eff} | | | | | 25 |
| Incerteza Expandida | | | | 0,0566 | |

Na Figura 3 pode-se observar a curva de erros do instrumento ao longo da faixa calibrada.

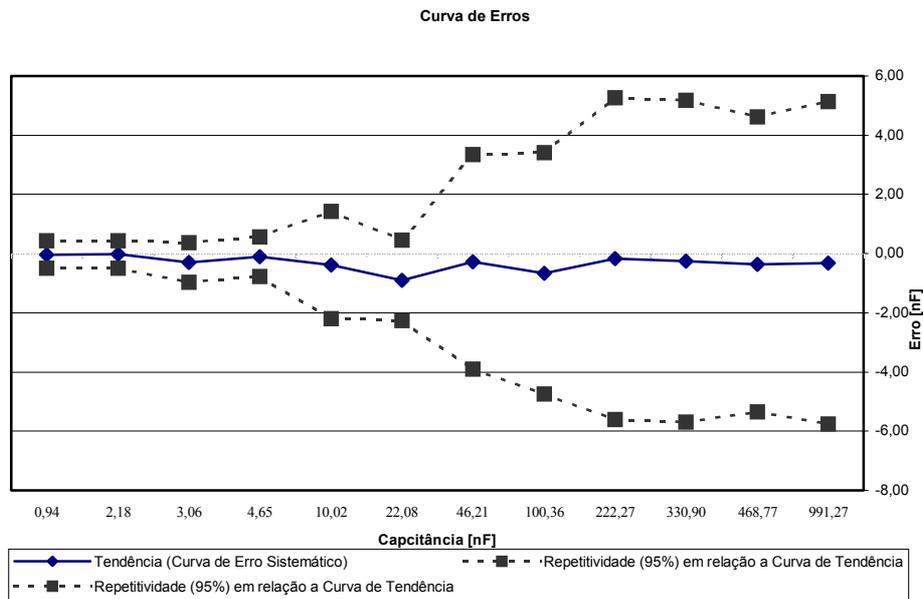


Figura 3 – Curva de erros do capacitômetro ao longo da faixa calibrada.

Análise dos resultados

O capacitômetro encontra-se dentro dos padrões esperados para o projeto desenvolvido, apresentando erro sistemático máximo de 0,9 nF ou 0,09 % do VFE e incerteza máxima de 5,7 nF ou 0,57 % do VFE

6. CONCLUSÕES

Algumas conclusões podem ser tiradas a partir dos estudos.

Principais vantagens do método

- 1) Motivação dos alunos por estarem trabalhando com conceitos aplicados na prática;
- 2) Trabalha-se com múltiplas habilidades durante a disciplina. Interpretação de resultados, trabalho em equipe, capacidade de comunicação, capacidade de escrita, pesquisa, interação com profissionais do mercado, interação com profissionais de outras áreas diferentes da elétrica;
- 3) Diminuição das tensões provocadas pelo processo de avaliação através de provas. Na avaliação através de provas os alunos acabam construindo bancos de provas de anos anteriores, e limitam os seus estudos apenas à esse material, restringindo muito as possibilidades de aprendizado. No entanto os trabalhos teórico – práticos devem ser apresentados rigorosamente nos prazos, sendo previamente informado os critérios de avaliação;
- 4) No método de avaliação dos laboratórios tradicionais há um desprezo da parte prática que apesar de requerer um grande empenho dos estudantes, acaba valendo apenas 30% da nota final. Estabelece-se uma relação de que a teoria é mais importante que a prática, o que não é verdade já que uma fortalece a outra, facilitando a compreensão e o aprendizado;



- 5) Os trabalhos teórico - práticos, experiências de laboratório e trabalho final da disciplina possibilitam uma compreensão muito maior da disciplina, os resultados estão abertos, cada trabalho apresenta características peculiares e únicas;
- 6) A apresentação em classe dos trabalhos possibilita o aprendizado com a experiência dos outros;

Dificuldades do método

- 1) O professor tem que estar atento à renovação freqüente dos trabalhos a serem propostos para que não se crie um banco de trabalhos assim como o banco de provas. Contudo os trabalhos apresentam uma variedade muito grande de possibilidades já que são únicos, mesmo quando se repete o enunciado. Por exemplo, um trabalho de calibração de um instrumento nunca será igual a outro, mesmo que o mesmo instrumento tenha sido utilizado;
- 2) Os cursos do CEFET-PR, apesar do excelente nível dos seus alunos, se concentraram por razões históricas mais no período da noite. Sendo assim, a grande maioria dos alunos trabalha durante o dia, o que representa um desafio para o professor preocupado com a motivação dos alunos. Com isso os alunos são reticentes a trabalhos que envolvam muito tempo fora da sala de aula, tais como visita a outras empresas, visitas a laboratórios mesmo dentro do próprio CEFET-PR, uso de laboratórios fora do tempo de aula da disciplina, pesquisas na biblioteca e outros. Há uma tendência a exigirem dos professores a terem todo o material na forma de apostilas, o que acaba por inibir a consulta a livros em outros idiomas e outras fontes de pesquisa;
- 3) Como o método exige uma grande parte laboratorial é importante que nos laboratórios tenha-se instrumentos adequados, principalmente no trabalho de calibração. Nesse ponto tem-se alguma dificuldade no CEFET-PR, devido à falta de recursos, tem-se muitos instrumentos ultrapassados e instáveis, além de bancadas praticamente destruídas pelo tempo de uso;
- 4) Talvez fosse interessante introduzir algumas avaliações individuais dos alunos, evitando problemas com alunos passivos que acabam deixando tudo para os colegas de equipe;
- 5) Resistência dos professores em aceitar mudanças nos planos de aulas;
- 6) Para melhor implementar um aprendizado baseado na experimentação é desejável que o mesmo professor ministre a teoria e a prática da disciplina.

Observações Finais

No início os alunos estavam um pouco reticentes em propor um trabalho de fim de disciplina que fosse muito complexo como o Medidor de Distâncias com Ultra-Som. Essa resistência foi rompida com o incentivo do professor para que fizessem um trabalho no qual eles não estariam simplesmente cumprindo requisitos para aprovação na disciplina, mas sim que eles pudessem aprimorar futuramente em um produto. Disse-lhes também que a avaliação não seria unicamente pelo fato do circuito estar funcionando ou não, mas também pelo nível de complexidade.

Pode-se observar pelo nível dos trabalhos finais apresentados, que os alunos realmente aceitaram o desafio proposto, se envolveram e conseguiram resultados muito além dos esperados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOOM, B.S.; et.al. **Taxanomi of education objectives. The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain.** New York: David McKay Compay Inc., 1972.



CARNIERI, R.; CARTA, A.N.; WOLF, R. **Medidor de distância com Ultra-Som.** 2003. Trabalho apresentado na disciplina de Medidas Elétricas II do CEFET-PR – Unidade Curitiba - Professor MACHADO, V.N. – Departamento Acadêmico de Eletrônica.

HARRISBERGER, L.; HEYOINGER, R.; SEELEY, J.; TALBURTT, M. **Experimental Learning in Engineering Education.** United States of America: 1ª Ed. Ed. American Society for Engineering Education, 1976.

MARLON, W.J.; TITERICZ, G.J. **Capacímetro.** 2003. Trabalho apresentado na disciplina de Medidas Elétricas II do CEFET-PR – Unidade Curitiba – Professor MACHADO, V.N. – Departamento Acadêmico de Eletrônica.

THE METROLOGIA AND INSTRUMENTATION LEARNING BASED ON EXPERIMENTATION

Summary: *The aim of this article is to show how an experimental learning in Metrology and Instrumentation can be implemented. This learning took place in the Electric Measurements II course, of the Electric Industrial Engineering course with emphasis in Electronics and Telecommunications, at the Federal Center of Technological Education of Parana – CEFET-PR.*

Firstly, the correlation between highest learning levels (analysis, synthesis and evaluation) and the experimental learning based on opened problems is presented. Topics about movement for the curricula and education modernization in the CEFET-PR context are discussed. Then, the attention is concentrated on how the Electric Measurements II course is taught, with an experimental based approach.

Finally the results of two final courseworks are presented. The subjects of these works are “Ultrasound Distances Measurements” and the “Capacitance Measurements”. The level of the presented works points out to the method efficacy, with strong students participation and excellent results.

Word-keys: *experimental learning, electric measurements, metrology.*