PROJETO DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA DO ÓLEO ISOLANTE DE UM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA UTILIZANDO O PIC16F877A

Paulo Cezar Araujo Monteiro – paulo.monteiro1@eletronorte.gov.br
Vanessa Menezes Ramos – vanessa.rmenezes@gmail.com
Tiago Machado Wanzeler – wanzeller_tuc@hotmail.com
Universidade Federal do Pará - Campus Universitário de Tucuruí
Rod. BR 422 KM13 S/N Canteiro de Obras da UHE-Tucuruí
68.464-000 – Tucuruí – Pará – Brasil

Resumo: *As metodologias de ensino-aprendizagem assumem hoje um importante papel na formação dos novos engenheiros visto que frente a grande demanda de profissionais requerida neste setor da economia, o mercado exige cada vez mais um alto grau de formação em combinação com característica de dinamismo, versatilidade, criatividade, autonomia, integração etc. Assim, é imprescindível que o ambiente estudantil venha a criar condições para que os futuros profissionais sejam estimulados a desenvolver essas habilidades, portanto, o ponto crucial para os cursos de Engenharia é a eficiência do aprendizado, exigindo, por conseguinte mudanças metodológicas qualitativas para o acompanhamento dessas condições. Logo, explorar o potencial dos alunos com atividades que incentivem a busca por soluções de problemas voltados para sua área de atuação é muito importante. Essa iniciativa ganha força à medida que incorpora as atividades de pesquisa e extensão ao corpo das matérias que estão sendo ministradas exercitando também a interdisciplinaridade entre as áreas do conhecimento. Pensando nisso, a faculdade de engenharia elétrica do campus universitário da Universidade Federal do Pará em Tucuruí em algumas disciplinas vem adotando o sistema em que os alunos buscam um problema real que possa ser resolvido aplicando conceitos obtidos na disciplina ministrada em questão e relacionam também com as demais matérias. Neste contexto surge à elaboração do projeto de implementação de supervisão e controle do óleo isolante de um transformador de potência de 69kV da ELETROBRAS/ELETRONORTE localizado na Usina Hidrelétrica de Tucuruí utilizando o PIC16F877A desenvolvido na disciplina de Microcontroladores.*

Palavras-chave: *Controle, Ensino-aprendizagem, Microprocessadores, Projeto, supervisão.*

1. INTRODUÇÃO

A Extensão é definida como o processo educativo, cultural e científico que articula o Ensino e a Pesquisa de forma indissociável e viabiliza a relação transformadora entre a universidade e a sociedade (Fórum Nacional de Pró-Reitores de Extensão das

Universidades Públicas Brasileiras, 1990 apud SOUSA 2005) sendo ela uma ferramenta de aplicação do trabalho interdisciplinar que favorece a visão integrada do social, principalmente, no atual momento em que a extensão universitária consolida-se como um fazer acadêmico.

As novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) dos Cursos de Graduação em Engenharia estabelecidas diz, segundo o Art. 3º, que a formação do engenheiro deve ser generalista, humanista, crítica e reflexiva, que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade (MEC Resolução no 11, 2002).

Sendo assim, ações que disseminem esses pensamentos nos alunos e incentivem os mesmos a desenvolverem suas potencialidades são extremamente importantes. Eles devem ser preparados para apresentarem soluções aos problemas com autonomia provocando inovação e integração com as questões econômicas, sociais, políticas e ambientais em favor dos anseios da sociedade buscando saber lidar com as mais situações adversas e trabalhar com a interdisciplinaridade.

Neste contexto, as ações combinadas entre ensino, pesquisa e extensão vêm sendo discutidas cada vez mais e incentivadas. Na Universidade Federal do Pará, campus Tucuruí, em disciplinas como Técnicas de Linguagens de Programação, Eletrônica Digital e Microprocessadores, vem sendo incentivada a participação dos alunos para que sejam desenvolvidos projetos envolvendo os conceitos abordados na matéria ministrada em questão e relacionem também com as demais matérias na solução de problemas práticos cotidianos ou não.

Assim surgiu a ideia de aplicar o microcontrolador PIC, do inglês Programmable Interface Controller, no projeto de implementação de supervisão e controle do óleo isolante do transformador de 69kV localizado na Usina Hidrelétrica de Tucuruí que não possui sistema de monitoramento.

2. MICROCONTROLADOR PIC

Os microcontroladores são chips que tem um processador, pinos de entradas/saídas e memória. Através da programação dos microcontroladores podemos controlar suas saídas, tendo como referencia as entradas ou um programa interno.

O que diferencia os diversos tipos de microcontroladores são as quantidades de memória interna (programa e dados), velocidade de processamento, quantidade de pinos de entrada/saída (I/O), alimentação, periféricos, arquitetura e set de instruções (TREVISAN).

O PIC é um circuito integrado produzido pela Microchip Technology Inc. , que pertence a categoria dos microcontroladores, ou seja, um componente integrado que em um único dispositivo contem todos os circuitos necessários para realizar um completo sistema digital programável.

O PIC esta disponível em uma ampla gama de modelos para melhor adaptar-se as exigências de projetos específicos, diferenciando-se pelo numero de linha de I/O e pelo conteúdo do dispositivo. Inicia-se com modelo pequeno identificado pela sigla PIC12Cxx dotado de 8 pinos, até chegar a modelos maiores com sigla PIC18Cxx dotados de 40 pinos.

3. TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

Transformadores de potência são máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a mesma frequência e, normalmente, variando valores de corrente e de tensão. De maneira geral, a função de um transformador é a de reduzir as perdas em transmissão por redução da corrente requerida para transmitir uma determinada potência elétrica (NYNÄS, 2004). Esta transferência de energia é acompanhada de perdas que dependem, normalmente, da construção do transformador, do seu regime de funcionamento e da sua manutenção.

A principal parte de um transformador é o seu sistema de isolamento, que é constituído, basicamente, por um líquido, o óleo mineral isolante (OMI) e uma isolação sólida, o papel isolante elétrico.

Mudanças na temperatura geram alterações na absorção de umidade no papel e no óleo, provocando a migração de moléculas de água entre estes dois materiais e afetando desta maneira as propriedades deste sistema isolante (KARSAI; KERENYI; KISS, 1987 E AZIZIAN; PROSKURINSKI; LACKEY, 1995).

Os principais agentes da degradação do isolante sólido são:

1 - A água (degradação por hidrólise).

2 - Os produtos de degradação do óleo, (por exemplo os ácidos que atuam em presença da água).

3 - O oxigênio (degradação por oxidação).

4 - O calor (degradação por pirólise). O aumento de temperatura potencia a ação dos outros agentes, uma vez que provoca uma aceleração exponencial da velocidade das reações químicas, de acordo com a fórmula de Arrhenius.

Os transformadores nos quais será implementado o projeto podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 - Transformadores de 69kV da UHE - Tucuruí.

3.1. Temperatura do óleo

A temperatura é um dos fatores que aceleram a oxidação do óleo. É fator também de correção do teor de água, pois quando o óleo está mais aquecido à umidade migra do papel para o óleo e quando a temperatura diminui a tendência é contrária, ou seja, migração da umidade para o papel.

3.2. Degradação do óleo isolante mineral

Na operação do transformador, o óleo passa por um processo de envelhecimento resultante da solicitação por temperatura, ação do oxigênio e de materiais presentes na construção (cobre e outros). Como consequência, ocorre a deterioração das propriedades isolantes do óleo e os seus produtos promovem a aceleração do processo de degradação da celulose e a formação de borra. O processo que rege a oxidação dos hidrocarbonetos é o mecanismo de peroxidação.

A degradação do óleo mineral isolante abrange uma série de fenômenos, tais como reações de oxidação, reações de polimerização, condensação, rupturas de cadeias, etc.

Os fatores que mais influenciam a degradação são a presença de oxigênio, temperaturas relativamente elevadas e contato com substâncias quimicamente ativas de vários materiais que constituem o conjunto do isolamento ou equipamento.

A existência de descargas de baixa intensidade provoca a formação de gases e a polimerização do óleo, resultando na formação de borra ou sabões insolúveis.

A deposição desta borra, que atua como isolante térmico e como restrição ao fluxo do óleo, faz com que a temperatura do isolamento seja elevada. Um aumento de temperatura no óleo atua no sentido de realimentar positivamente o processo de deterioração do óleo, acelerando o mesmo (ZIRBES et al, 2005).

Para temperaturas mais elevadas, o óleo mineral sofre uma decomposição, em que vários compostos são formados pelo fracionamento dos compostos de hidrocarbonetos. Os mecanismos são complexos, sendo basicamente quebras de ligações carbono-hidrogênio e carbono-carbono. Os radicais livres formados se recombinam formando novos gases. Estes processos dependem dos hidrocarbonetos que formam o óleo e da distribuição de energia e da temperatura na região de fracionamento.

Na Figura 2(a) pode ser visualizado os termômetros do enrolamento de alta e baixa tensão e o termômetro do óleo na Figura 2(b).

(a) (b)

Figura 2 - (a) Termômetro do enrolamento de alta e baixa tensão. (b) Termômetro do óleo.

3.3. Sensor PT100

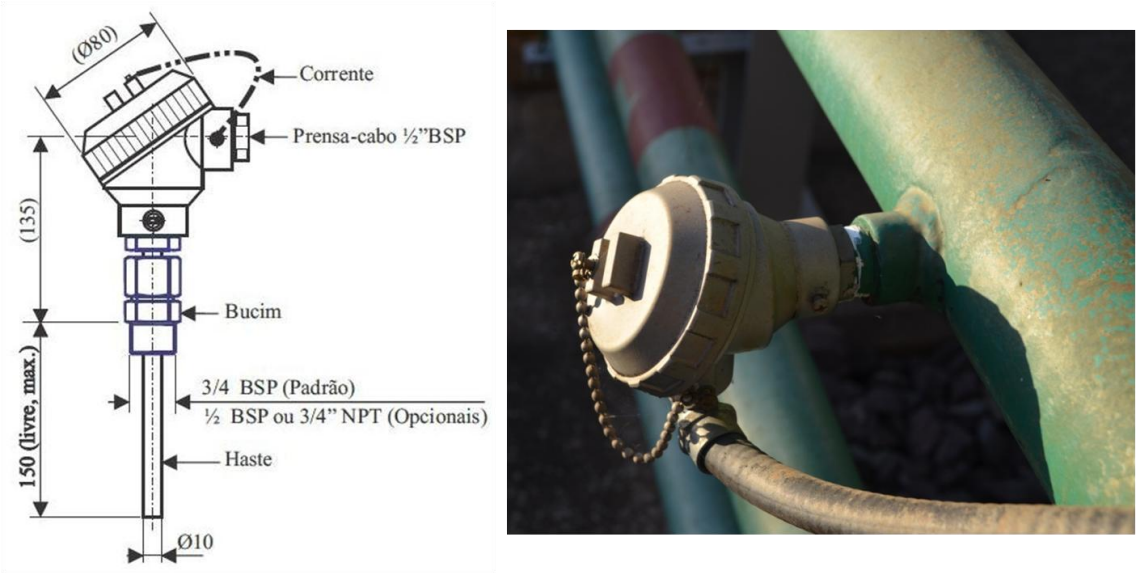
O PT100 oferece uma grande precisão sendo esta de ±0,2ºC e opera em uma faixa de -200ºC a 850ºC. Apresenta termorresistências de platina são sensores de temperatura cujo princípio de funcionamento se baseia na alteração da resistência elétrica do elemento com a variação da temperatura. A variação da resistência com a temperatura é chamada de coeficiente de temperatura e é especificada como a média da variação entre 0 e 100 °c. Este coeficiente é de 0,385 por °c, conforme a norma IEC 60751.

A resistência de 100 ohms a 0ºC, é conhecido por ter uma alta estabilidade e resposta rápida fazendo com que ele possa ser utilizado em diferentes aplicações relacionadas com temperatura.

Sua forma varia de acordo com o processo de produção, podendo ser de platina do tipo flat-film ou wire-wound. Além do formato, uma grande diferença entre eles é que o flat-film é utilizado em aplicações onde se exige um tamanho menor.

O seu funcionamento é simples, como sua resistência é proporcional de acordo com a temperatura, aplicando uma corrente conhecida por ele, se obtém uma tensão de saída que vai variar com a temperatura. O conhecimento da relação entre temperatura e resistência é fundamental para a sua aplicação.

A mostra Figura 3(a) algumas características construtivas do sensor de temperatura PT-100 e Figura 3(b) mostra o sensor PT-100 em uma utilização dentro da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.



(a) (b)

Figura 3 - (a) Características do Sensor PT -100. (b) Sensor PT-100 empregado na ELETRONORTE.

4. PROJETO DESENVOLVIDO

Dentre os conteúdos abordados pela ementa da matéria de Microprocessadores está o tópico sobre os Programmable Interface Controller, mais conhecido como PIC. A

partir dos conhecimentos gerados na disciplina, os alunos foram orientados a desenvolver projeto com aplicações reais envolvendo a utilização de microcontroladores para resolver problemas.

Foi desenvolvido, então, um projeto para o controle e a supervisão da temperatura do óleo isolante dos transformadores de 69kV na UHE - Tucuruí. Os dados dos transformadores podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1- Características dos transformadores.

Fabricante	TRAFO
Potência	28,75MVA/69/15
Tensão no Primário	13.8 kV
Tensão no Secundário	69 kV
Corrente Primário	2083 A
Corrente Secundário	416 A

A ideia é conseguir substituir os termômetros existentes hoje, mostrados na Figura 2, por sensores PT-100 os quais transmitiram a informação para microcontroladores que darão ações de controle para resfriamento do óleo e até mesmo a parada forçada do funcionamento do transformador caso está temperatura atinja o seu valor máximo de operação.

Os valores limites de temperatura para os transformadores em questão são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites de temperatura para os transformadores 69kV da UHE - Tucuruí.

Temperatura de enrolamento	105º C – Alarme 1º estágio (Alerta)
	125º C – Alarme 2º estágio TRIP (Desligamento do transformador)
Temperatura do Óleo	90º C – Alarme 1º estágio (Alerta)
	105º C – Alarme 2º estágio TRIP (Desligamento do transformador)

O projeto visa programar um sistema de monitoramento para supervisão e controle da temperatura do óleo de um transformador de potência segundo os seus valores limites reias através do microcontrolador fabricado pela Microchip, o PIC16F877A.

4.1. Circuito para simulação

A simulação para visualizar se o projeto atendia a solução do problema foi realizada no ambiente de desenvolvimento da LabCenter Eletronics, o software ISIS Proteus.

Na simulação, o PIC tem a função de fazer a leitura da temperatura do óleo mineral isolante do transformador através do sensor LM35 e mostra no display LCD.

Os valores limites de temperatura do óleo mineral isolante são de 90ºC e 105ºC. Quando a temperatura do óleo atinge 90ºC atua o primeiro estágio de temperatura elevada, fazendo com o que o acione a moto-bomba do trocador de calor reserva, representado pelo motor DC 12V e ligue a lâmpada LED amarela.

Se a temperatura continuar a subir, chegando a um valor superior a 105ºC, atua o segundo estágio acende-se a lâmpada LED vermelha e aciona-se o TRIP, ou seja, o desligamento forçado do transformador.

Na Figura 4, visualiza-se a simulação para uma temperatura inferior a 90° por isso, o trocador de calor encontra-se deslizado e as lâmpadas LEDs apagadas.

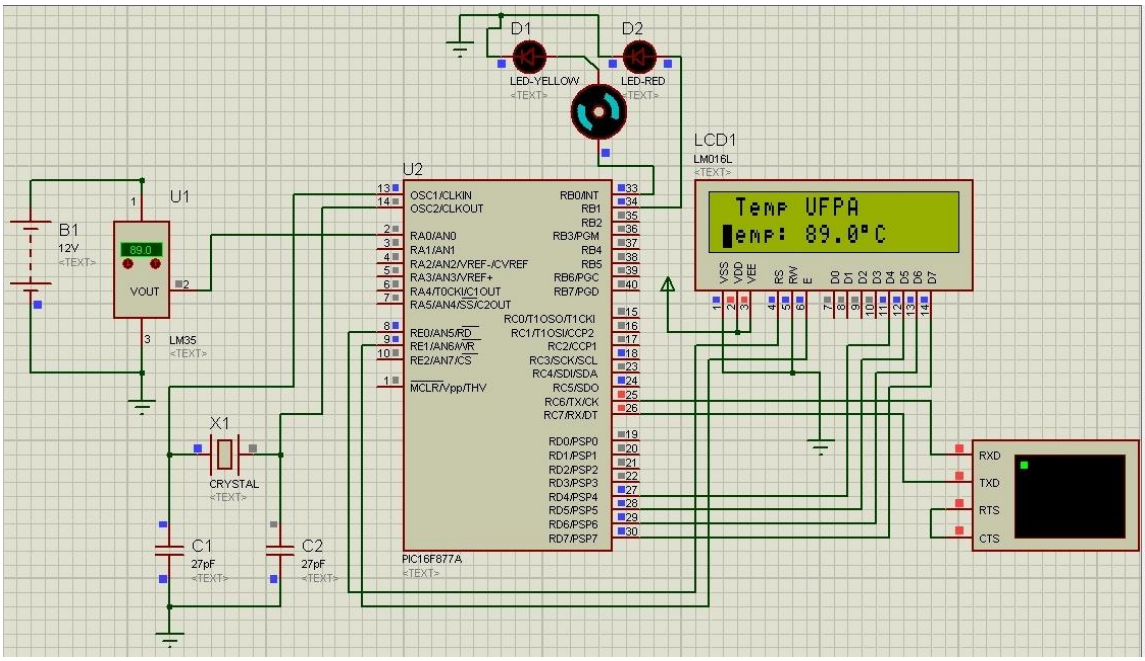


Figura 4 - Simulação para uma temperatura inferior a 90°.

Na Figura 5, a temperatura do óleo isolante está acima de 90º C, por isso, atua o 1º estágio para alerta no qual se acende o LED amarelo e a bomba reserva com o trocador de calor é acionada.

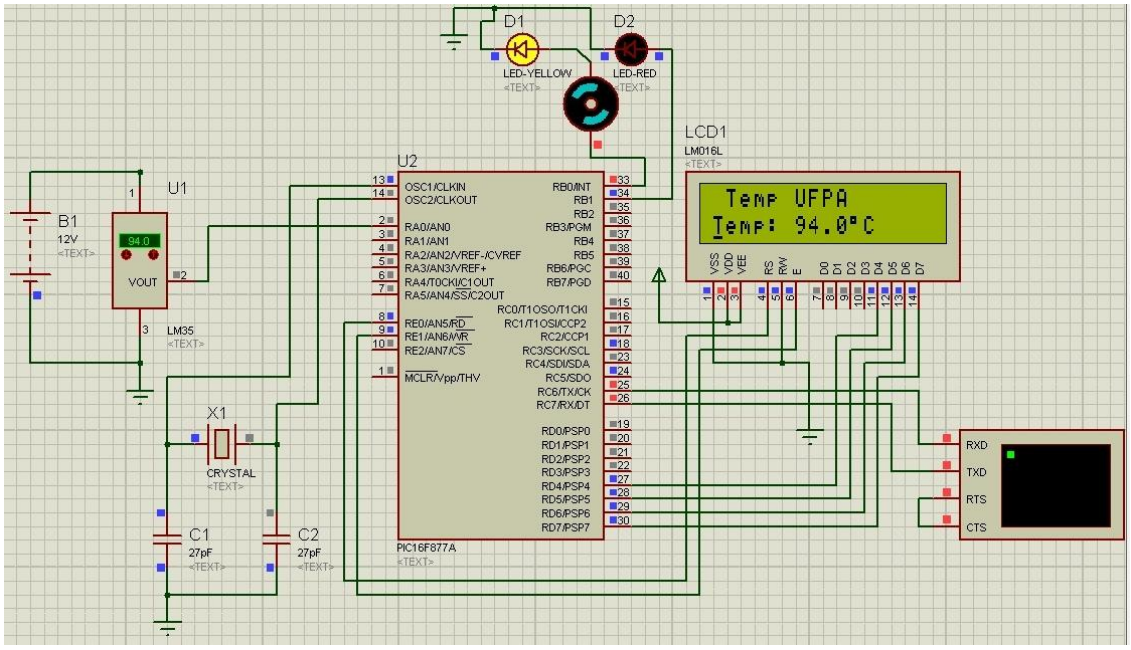


Figura 5 - Temperatura do óleo isolante está acima de 90º C.

Na Figura 6, a temperatura está acima de 105º C, onde o 2º estágio é atuando fazendo com que a lâmpada LED vermelho seja acesa e seja forçado o desligamento do através do comando de TRIP. Nesse momento também o trocador de calor é desativado.

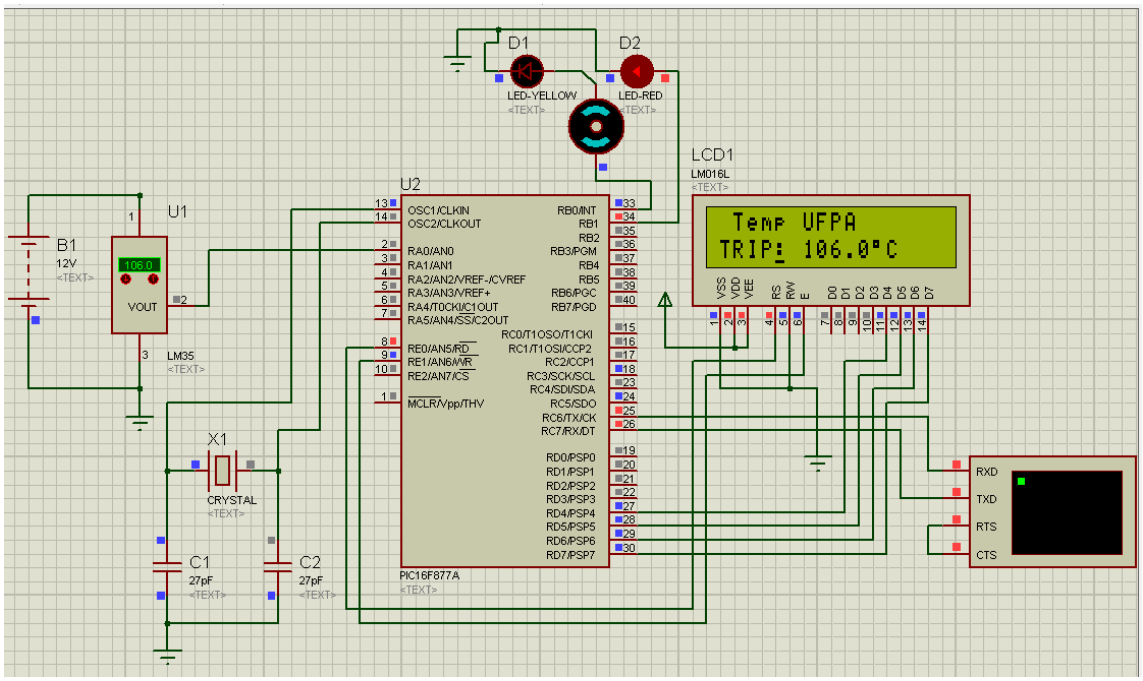


Figura 6 - Simulação para uma temperatura inferior a 105°.

Nesta simulação utilizando o software foram utilizados componentes como: PIC16F877A; sensor LM35; display LCD, Cristal de 4MHz, Bateria 12V; 2 capacitores de 27 pF; LED vermelho, LED amarelo, motor DC 12V e Terminal Virtual.

4.2. Código do Programa

A linguagem de programação padrão do software PCWHD da Custom Computers Service, Inc. (CCS) o qual foi desenvolvido o código usado no projeto é a linguagem C.

A seguir, encontra-se toda a lógica de programação do PIC desenvolvida para a supervisão e controle da temperatura do óleo do transformador de 69kV aplicado ao circuito montado no software ISIS Proteus.

Observa-se que os trechos do código destacado na cor verde são os comentários feitos a cerca dos comandos usados e ações tomadas.

```
PROGRAMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA TEMPERATURA DO ÓLEO DE
TRANSFORMADOR

#include "main_LM35+PIC.h"  // Biblioteca de configuração
#include "mod_lcd.c"        // Biblioteca para LCD

void main()
{
   int16 valor_anal, valor_temp, ant; // Variáveis do
programa

   setup_adc_ports(AN0);
   setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
   setup_psp(PSP_DISABLED);
   setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
   setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
   setup_timer_1(T1_DISABLED);
   setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);

   set_adc_channel(0); // Canal  do ADC
   ant=0;
   lcd_ini();
   while (true)
   {
    valor_anal = read_adc();   // Lê o valor da temperatura
pelo sensor LM35 que na simulação representa o PT-100.
    valor_temp = 5.0 * valor_anal * 100.0 / 1023.0; //
Converte o valor encontrado da temperatura em graus
Celsius.
```

```
    lcd_pos_xy (1, 2);      // Posiciona o cursor no
display.
    output_low(pin_b0);
    output_low(pin_b1);
    if (valor_temp>=90 && valor_temp<=105)
output_high(pin_b0); // Se atingir a temperatura acima de
90° C aciona através do pino b0 do PIC o trocador de calor.
    if (valor_temp>105)
       {
        output_high(pin_b1);
        printf(lcd_escreve,  "TRIP");  //    O nome "TRIP"
aparecerá no display LCD quando atingir a temperatura de
105° C avisando o comando para desligamento forçado do
transformador.
       }
    if (valor_temp != ant)
        {
        ant=valor_temp;
        lcd_escreve ("\f Temp UFPA\r");  // Nome do Projeto
" Temp UFPA " é escrito no display LCD.
        printf (lcd_escreve, "Temp: %2.1f%cC", // O valor
da temperatura lida é mostrada no display LCD.
(float)valor_temp, 0b11011111);
        //printf("%2.1f\r", (float)valor_temp);
       }
     delay_ms(1000);
   }
}
```

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iniciativa é importante à medida que agrega a comunidade acadêmica na solução de problemas reais de grupos da sociedade expandindo não só os conhecimentos técnicos dos alunos, mas também explorando a busca pela autonomia, inovação, intercontextualidade entre o que é abordado em sala de aula e o que pode ser aplicado em determinada situação. Quando este tipo de ação é aplicada ganham todos: alunos, professores e sociedade.

Quanto ao corpo estudantil, à aprendizagem por projetos instiga os alunos a buscarem a integração dos diferentes saberes disciplinares para propor solução de problemas desenvolvendo características de inovação, independência, busca e responsabilidade fazendo com que se tornem conscientes de seu processo de aprendizagem.

O processo de formação do engenheiro deve considerar diversos aspectos a fim de consolidar em sua vida profissional a busca constante da utilização dos saberes técnicos ao bem comum e colocá-los a favor da sociedade assim como os demais segmentos de

formação profissional sendo necessário para tanto a iniciativa para o despertar humanístico, generalista e multidisciplinar dos mesmos.

Quanto aos professores, o importante é a percepção de que este tipo de ação como esta é uma ferramenta que auxilia as suas atividades didático pedagógicas, como elemento que motiva e ao mesmo tempo desafia o surgimento de novas práticas pedagógicas, tornando o processo ensino-aprendizagem uma atividade inovadora, dinâmica, participativa e interativa.

Para a sociedade, pois com iniciativas como esta pode surgir à solução de problemas ou desenvolvimento de questão cuja aplicabilidade favorece determinado setor da sociedade. No caso do projeto, as aplicações das técnicas sugeridas trarão o monitoramento de uma variável importante de um equipamento cuja operação afeta a vida de milhares de pessoas através do sistema interligado. Com esse monitoramento, pode-se evitar que algo sério aconteça a ponto de comprometer a vida útil e disponibilidade desse equipamento. Esse projeto também pode ser expandido para obter outras variáveis e aumentar, assim, o nível de supervisão e controle aplicados nos transformadores de 69kV da UHE - Tucuruí.

Agradecimentos

Os autores são gratos à empresa Eletrobrás/Eletronorte pela parceira e pelo constante apoio aos projetos do campus Tucuruí.

6. REFERÊNCIAS / CITAÇÕES

SOUSA. Ana Luiza Lima. EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA NA UFG - Olhando para o passado. Disponível em: <http://www.proec.ufg.br/revista_ufg/45anos/M-extensao.html> Acesso em: 27 maio 2013.

KARSAI, K.; KERENYI, D.; KISS, L. Large power transformer. New York: Elsevier Company, 1987.

MASSON, T. J.; MIRANDA, L. F. de; MUNHOZ, A. H. Jr.; CASTANHEIRA, A. M. P. Metodologia de ensino: aprendizagem Baseada em projetos (PBL). Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/104325.pdf> Acesso em 07 jun 2013.

MEC. Conselho Nacional de Educação Câmara de Educação Superior - Resolução Cne/Ces 11. Disponível em: < http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf >. Acesso em: 03 jun 2013.

NYNÄS NAPHTHENICS AB. Transformer oil handbook. 1 ed., Sweden: Linderoths in Vingåker, 2004. 223 p.

TREVISAN, Pedro V. T. Microcontroladores. Disponível em: < http://www.radioamadores.net/files/microcontroladores_pic.pdf> Acesso em 27 maio 2013.

ZIRBES, Roberto; ROLIM, Jacqueline G.; ZURN, Hans Helmut. Metodologias para avaliação e diagnóstico do estado de isolamentos de papel impregnado com óleo mineral. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592005000300005&script=sci_arttext > Acesso em 23 maio 2013.

PROJECT OF MONITORING AND CONTROL OF OIL TEMPERATURE INSULATION OF A POWER TRANSFORMER USING PIC16F877A

Abstract: *The teaching-learning today assume an important role in the training of new engineers as they face the great demand of professionals required in this sector of the economy, the market increasingly demands a high degree of training in combination with characteristic dynamism, versatility, creativity, autonomy, integration etc.. Thus, it is essential that the student environment will create conditions for future professionals are encouraged to develop these skills, therefore, the crucial point for engineering courses is the efficiency of learning, requiring therefore qualitative methodological changes to the monitoring these conditions. Therefore, exploring the potential of students with activities that encourage the search for solutions to problems facing their area of operation is very important. This initiative gains momentum as it incorporates the research and extension to the body of the material being taught exercising also the interdisciplinary areas of knowledge. Thinking about it, the faculty of electrical engineering campus of the Federal University of Pará in Tucuruí in some disciplines has adopted the system in which students seek a real problem that can be solved by applying concepts obtained in the subject taught in question and also relate to the other matters. In this context arises the preparation of project implementation supervision and control of the insulating oil of a power transformer 69kV of Eletrobras / ELETRONORTE located in Hydroelectric Tucuruí using PIC16F877A developed in the discipline of Microcontrollers.*

Key-words: *Control, Design, Microprocessors, Supervision, Teaching and learning.*