

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA O CONTROLE DE TEMPERATURA

Sandra Bandeira MARTINS; Renato Franklin RANGEL; Ágio Felipe Gonçalves de MORAIS; Samuel Alves da SILVA; Valnyr Vasconcelos LIRA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Cajazeiras,

Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, Cajazeiras/PB - 58900-000, (83) 3531-4560 R-213

e-mail: sandrabmcz@hotmail.com, renato_franklin.cef@hotmail.com, agiofelipe@yahoo.com.br, samuel@ifpb.edu.br, valnyr@ifpb.edu.br

RESUMO

O controle de temperatura é uma das etapas (entre outras) necessárias em diversos processos industriais. No meio fabril, geralmente existem equipamentos conhecidos como controladores de temperatura que apresentam uma arquitetura fechada e muitas vezes pouco intuitiva para sua utilização, além de um alto custo de aquisição. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo microcontrolado e apresenta como vantagens: baixo custo, fácil manutenção e maior integração entre ensino e prática. O projeto consiste em um sistema de controle de temperatura, onde uma resistência aquece o ar que é circulado por uma câmara a uma temperatura pré-determinada ou um perfil de temperatura. Para o desenvolvimento do projeto foi feito inicialmente um estudo teórico sobre o controle a ser utilizado e os circuitos do projeto, resultando em uma análise do comportamento do sistema através de um experimento prático que validam conhecimentos adquiridos na teoria, fornecendo informações essenciais para a construção de um protótipo didático para estudos sobre controle de temperatura.

Palavras-chave: controle, temperatura, protótipo.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os sistemas de controle automáticos têm assumido uma importância crescente no desenvolvimento e avanço da tecnologia. Praticamente todas as atividades envolvidas no nosso dia a dia, são efetuadas por algum tipo de sistema de controle. Estes são encontrados em abundância em setores da indústria, tais como controle de qualidade e fabricação de produtos, linhas de montagem automática, controle de ferramentas, tecnologia espacial e de armamento, sistemas de transporte, sistemas de potência, robôs e muitos outros (OGATA, 1998).

O controle, na escala tecnológica, assume um papel primordial e decisivo dentre os modelos e processos existentes, sejam eles simples, modestos robustos ou de extrema complexidade no plano de ação, (SILVEIRA, 2003). E o controle de temperatura é necessário em processos industriais e comerciais freqüentes observados nas várias linhas de produção, tais como fornos industriais, centrais de ar-condicionado, caldeiras, chocadeiras, estufas e uma infinidade de aplicações. Portanto, optou-se por desenvolver um protótipo de controle de temperatura, permitindo a realização de experimentos práticos e viabilizar significativamente a formação profissional.

Para a aprendizagem das técnicas de controle de processos é necessário tanto o estudo teórico como a observação prática destas técnicas aplicadas em processos didáticos que representam problemas reais, mas em escala piloto. Para a realização da parte experimental são necessários kits didáticos, cuja aquisição comercial na maioria dos casos é bastante dispendiosa, tornando-se assim inviável. Este trabalho busca como contribuição, uma alternativa econômica e interessante, através da construção de protótipos de baixo custo para atividades práticas de controle de processos, possibilitando melhorar o treinamento experimental, procurando sempre maximizar o desempenho e minimizar os custos envolvidos.

Ressalta-se ainda, o caráter multidisciplinar do projeto, envolvendo a integração de outras disciplinas. Dessa maneira, este trabalho proporciona um contato com diferentes áreas de conhecimento de maneira teórica e prática, com a finalidade de poder utilizar resultados adquiridos em experimentos práticos, entendendo de forma acessível à teoria envolvida de controle de temperatura.

2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE CONTROLE DO PROTÓTIPO

Um sistema de controle é uma interconexão de componentes formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada ao sistema. (DORF, 2009). Com o auxílio de um diagrama esquemático, é possível visualizar como diferentes componentes são interligados para representar um sistema de controle. Na Figura 1 é apresentado o diagrama esquemático do sistema de controle de temperatura do projeto. Para realizar o controle da energia entregue à câmara, está sendo inicialmente implementado um controle de fase.

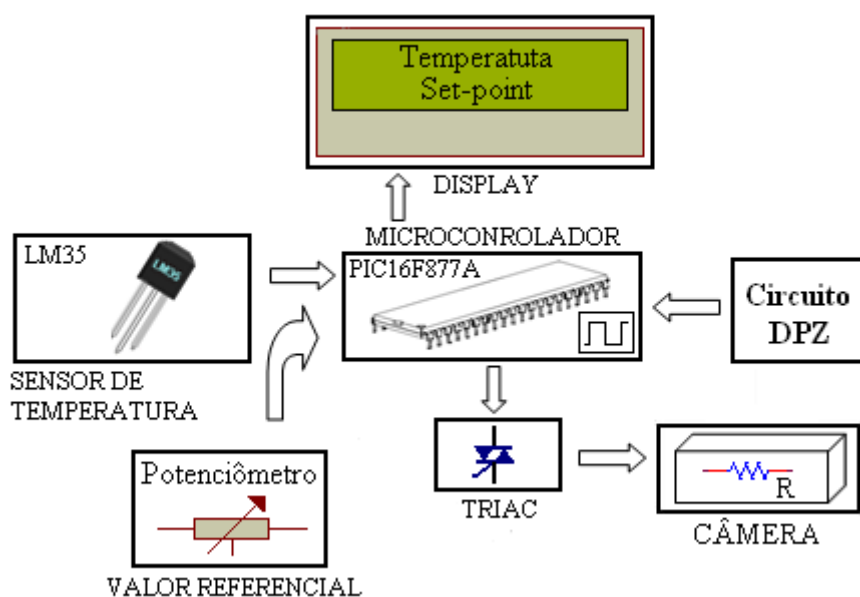


Figura 1 – Diagrama esquemático do sistema de controle.

O microcontrolador se comunica com o sensor de temperatura, LM35, obtendo assim, a temperatura atual que é exibida em um display de cristal líquido. É possível selecionar através do potenciômetro a temperatura

desejada (set-point) obtendo assim, o valor referencial que também é mostrado no display. Para controlar a temperatura da câmera, o microcontrolador obtém a informação da temperatura escolhida e atual e calcula o ângulo de disparo do TRIAC, de maneira a ajustar o nível de potência entregue a resistência elétrica (R).

Foi implementado também um circuito detector de passagem por zero (DPZ) para informar ao microcontrolador quando a tensão da rede elétrica passa por 0 V. A partir desse momento é calculado o tempo e disparado no ângulo necessário para o controle de temperatura desejada. O software foi projetado em linguagem C e compilado no programa CCS. A câmera utilizada no projeto deve possuir isolamento térmico feito com esferas de vidro. E para melhorar a homogeneização da temperatura no interior da mesma, deve ser utilizada a ventilação forçada. Pois, a instalação de um ventilador próxima à resistência facilita o processo de convecção no interior desta.

3. CONTROLE DE FASE COM O TIRISTOR

No chamado Controle de fase, em um dado semiciclo da rede, o tiristor é acionado em um determinado instante, fazendo com que a carga esteja conectada à rede por um intervalo de tempo menor ou igual a um semiciclo (ALMEIDA, 2003). Os tiristores SCR e TRIAC funcionam como chaves que podem obter o disparo controlado. E por isso, podem ser usado para o controle de fase de tensão alternada. Sendo que, os mesmos só deixam de conduzir no instante que a corrente cai à zero. Portanto, o SCR e o TRIAC retificam a tensão alternada aplicada à carga e conseqüentemente controla a potência fornecida a ela. A diferença entre eles é que o TRIAC conduz corrente em ambos os sentidos, ou seja, o controle de fase pode ser feito tanto no semiciclo positivo quanto no semiciclo negativo. A análise das características destes dispositivos foi importante para selecionar qual deles é o mais adequado para o controle a ser usado no projeto.

3.1 Disparo do TRIAC

A Figura 2 ilustra o gráfico da fonte de Tensão alternada da rede (V) *versus* Ângulo de disparo (α). A parte sombreada de cada semiciclo mostra quando o TRIAC está conduzindo. Portanto, o dispositivo TRIAC comuta em duas posições, ora ligado ora desligado, disparando a cada semiciclo da onda senoidal. Devido ao deslocamento da fase, a tensão no gatilho atrasa a tensão da rede por um ângulo entre 0 e 90°. O disparo é limitado à condução de 180° por ciclo e, ele pode conduzir 360° por ciclo, disponibilizando controle completo sobre a forma de onda da tensão na carga. Um controle como este é usado no aquecimento, na iluminação industrial e em outras aplicações de alta potência (MALVINO, 2008).

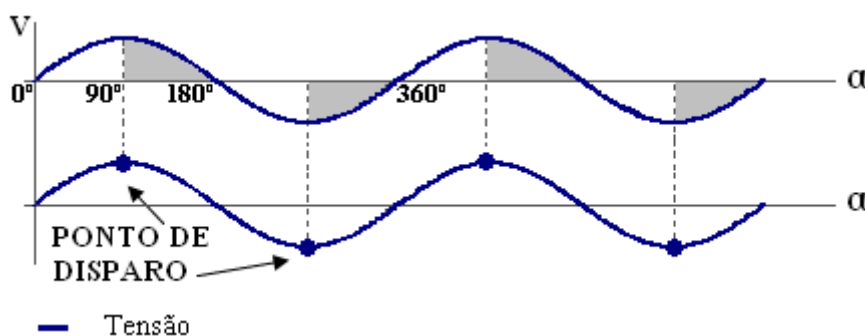


Figura 2 – Gráfico da Tensão e Ângulo de disparo.

3.2 Sincronização

Os circuitos de disparo controlado por fase devem ser sincronizados com a rede elétrica para que não ocorram disparos aleatórios do TRIAC. E a passagem da rede por zero é uma referência para manter esse sincronismo do pulso toda vez que a tensão passa por 0 V. Na Figura 3 é mostrado o gráfico de verificação do detector de passagem por zero, onde é possível perceber a tensão de referência em sincronia com a tensão da rede. A seta indica exatamente o sincronismo entre as mesmas.

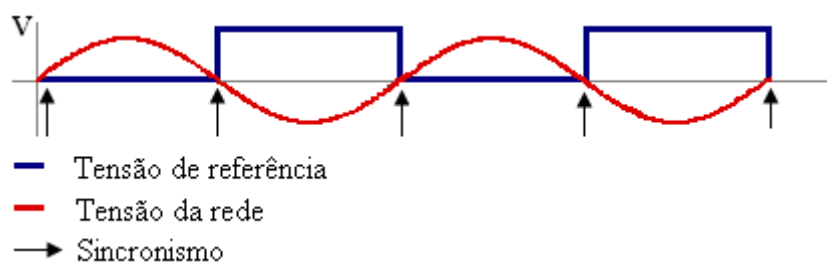


Figura 3 – Referência para a passagem por zero.

3.3 Disparo sincronizado

A Figura 4 mostra o gráfico de disparo (2) sincronizado com a rede (1), onde o pulso tem uma duração de 500us, tempo determinado para se ter uma variação de tensão sobre uma carga. O pulso é enviado para o *gate* do tiristor até a metade da onda senoidal. Portanto, o ângulo de disparo do TRIAC varia de acordo com a posição inicial do pulso. E o disparo é feito nos semiciclos positivo (P) e negativo (N) da rede elétrica. Dessa forma, é possível se ter um completo controle sobre uma carga.

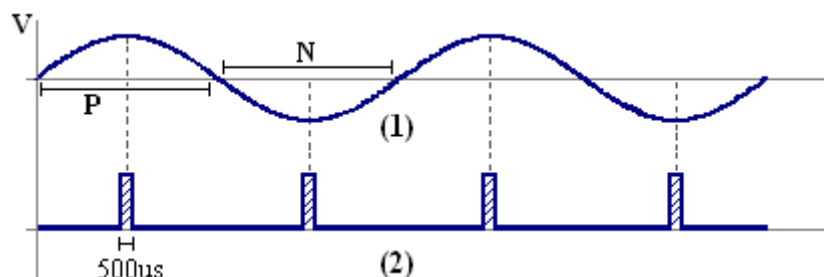


Figura 4 – Disparo sincronizado com a rede.

3.4 Chaveamento do TRIAC

A Figura 5 mostra que é possível variar a tensão na carga com a alteração do ângulo de disparo, por exemplo, 90° (a) e 144° (b) para cada semiciclo de um período. Se $\alpha=0$, a tensão na carga é máxima e quando $\alpha=\pi$, ela é mínima. Portanto, quanto menor o ângulo, maior a potência entregue a resistência elétrica, e conseqüente, maior temperatura é fornecida ao sistema.

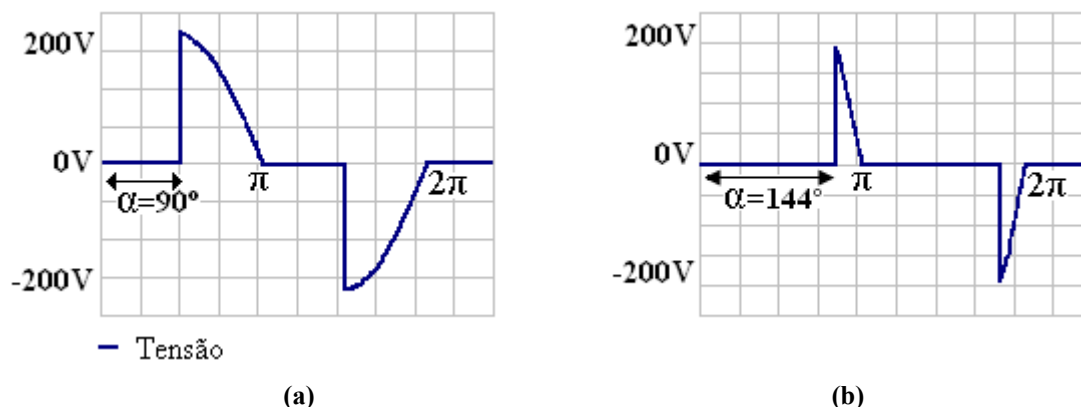


Figura 5 – Formas de onda de tensão na carga para $\alpha=90^\circ$ (a) e $\alpha=145^\circ$ (b).

Dessa forma, a potência fornecida à carga é controlada através do controle do ângulo de disparo do TRIAC. Esse processo é ideal para aplicação de controle de temperatura do sistema projetado.

4. CIRCUITOS

Neste trabalho os circuitos, utilizados para o desenvolvimento do projeto, estão divididos em três partes: circuito de aquisição de dados e comando, circuito de acionamento da carga e o circuito Detector de Passagem por Zero na rede (DPZ). As descrições são vistas separadamente para proporcionar facilidade no

entendimento do funcionamento, e posteriormente ser possível obter resultados, ou seja, a realização de teste experimental para uma respectiva análise.

4.1 Circuito de aquisição de dados e comando

Na Figura 6 é mostrado o circuito do sistema de aquisição de dados e comando. No bloco (A) pode-se observar o circuito de aquisição de temperatura. O sensor de temperatura, LM35, alimentado por uma tensão contínua de 5 V, apresenta em sua saída uma tensão linear a temperatura de entrada. Este opera em uma faixa de temperatura de -55 a 150°C e apresenta em sua saída 10 mV para cada Grau Celsius de temperatura.

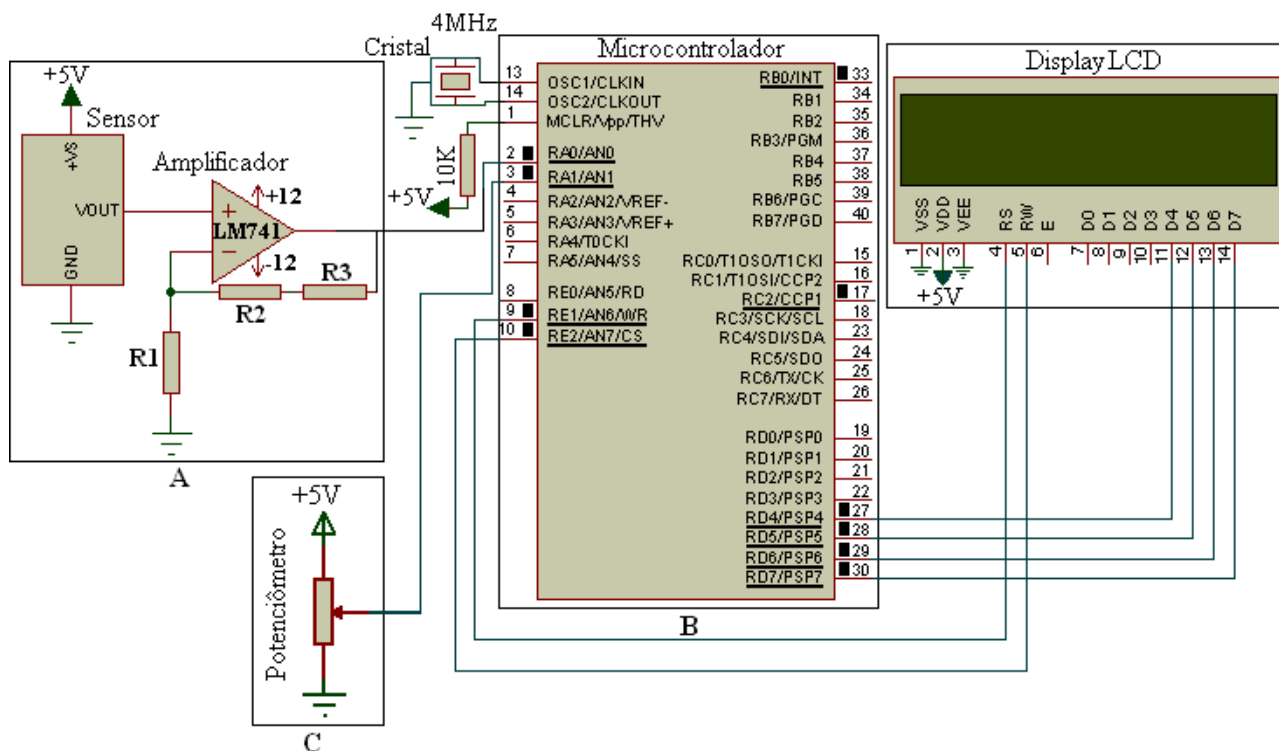


Figura 6 – Circuito de aquisição de dados e comando.

Escolhendo uma faixa de temperatura em que se deseja operar o sistema, a tensão de entrada entre esta faixa é amplificada com o auxílio de um amplificador operacional não inversor. Além disso, o microcontrolador trabalha com tensão entre 0 a 5 V e sendo assim, é possível na amplificação obter um ajuste na faixa de temperatura em que se deseja trabalhar, ou seja, com o uso do amplificador é permitido definir uma faixa de sinais com que se quer operar o circuito.

O sinal do sensor é amplificado e enviado para o microcontrolador (B), através da entrada analógica RA0/AN0, que realiza a leitura (valor real da temperatura) do sinal analógico, proveniente do sensor de temperatura e o converte em sinal digital para finalmente ser apresentado no display LCD de 2 linhas e 16 colunas. O microcontrolador utilizado no circuito do trabalho é o PIC16F877A.

Com o potenciômetro, representado pelo bloco (C), pode-se escolher o valor desejado (set-point) através de variações que o PIC recebe em sua entrada analógica RA1/AN1. O microcontrolador (B) faz a conversão A/D do valor desejado e envia também para o display. Ressalta-se ainda sobre este circuito o uso de alguns dispositivos: o cristal de 4 MHz (frequência interna) e um regulador de tensão, utilizado nos experimentos práticos, para garantir a alimentação de 5 V para que o microcontrolador, o potenciômetro, o sensor de temperatura e o display LCD funcionem adequadamente.

4.2 Circuito de acionamento da carga

A diferença entre o valor fornecido pelo sensor e o valor ajustado pelo potenciômetro gera um sinal de erro que é processado pelo microcontrolador para gerar o sinal de comando. Este agora é fornecido ao circuito de acionamento da carga mostrado na Figura 7. Assim, pode-se observar que este circuito irá controlar uma grande quantidade de potência a partir de um pequeno sinal vindo do pino RC1 do microcontrolador do circuito de aquisição de dados e comando da Figura 6.

O microcontrolador deve ser isolado da etapa de potência através de um optoacoplador já que os níveis de tensão da etapa de potência poderiam queimar este dispositivo de controle. Depois de receber o sinal de controle pelo pino RC1 do microcontrolador, o transistor (BC546) irá acionar o optoacoplador (MOC3021) com um sinal no terminal do LED (L), assim o circuito do DIAC (D) do optoacoplador será ativado em variações de luz, permitindo a passagem da corrente que irá para o gatilho (G) do TRIAC (BT139) que controla a ligação e o desligamento da tensão alternada de 220 V (V_i) na carga resistiva. Dessa forma, o valor da tensão (V_o) varia de acordo com o chaveamento do TRIAC. Ressalta-se ainda, sobre este circuito que os resistores (R1 e R2) evitam que, pequenos picos de corrente danifiquem o TRIAC.

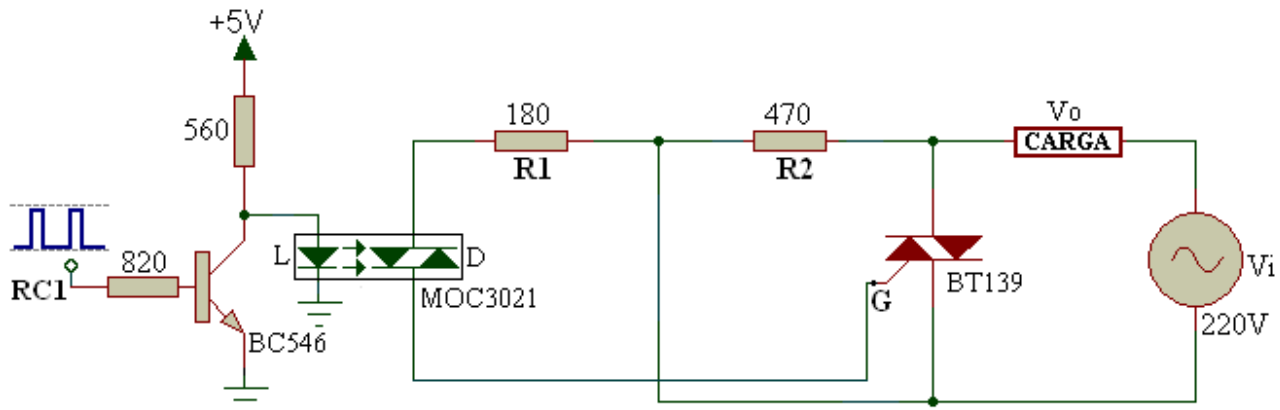


Figura 7 – Circuito de acionamento da carga.

4.3 Detector de Passagem por Zero (DPZ)

Para que a conversão do sinal analógico aconteça com precisão, é necessário montar um circuito que sensibilize quando o sinal está em nível baixo (0) e nível alto (1), informado ao microcontrolador o momento exato de início e fim da aquisição do sinal analógico.

Na Figura 8 é mostrado o circuito Detector da Passagem por Zero na rede. A detecção do zero da rede é obtida por um abaixamento da amplitude da onda senoidal da rede elétrica.

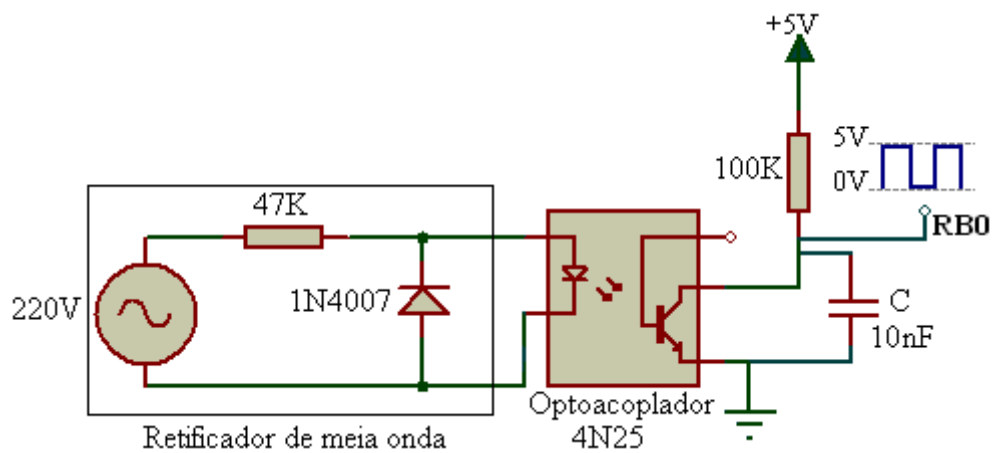
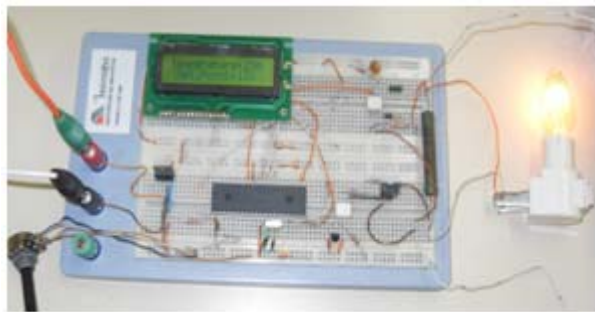


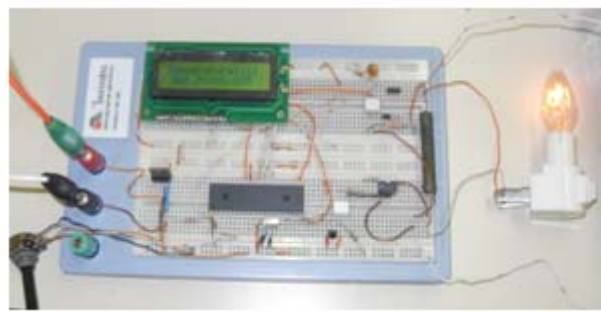
Figura 9 – Circuito Detector da Passagem por Zero da rede (DPZ).

Para isso utilizou-se uma retificador de meia onda ligado diretamente à rede para que as arcadas negativas não excedam os 0.7 V. E o capacitor (C) continua a se carregar até que, no próximo cruzamento por zero, o Detector de Passagem por Zero informe o evento ao PIC através de uma conexão com o pino RB0 do microcontrolador (B) da Figura 7. E a tensão que deve entrar no PIC por esta conexão é de 5 V. Por fim, utilizou-se um optoacoplador (4N25) para efetuar o isolamento entre o módulo e a rede.

5. RESULTADOS



(a)



(b)

Figura 9 – Circuito do projeto montado para teste experimental (a) e (b).

Para verificar o funcionamento do circuito foi utilizada como carga uma simples lâmpada incandescente conectada a uma fonte de tensão AC e também foi gravado um software no microcontrolador. Através de variações no potenciômetro pode-se ajustar o brilho da mesma. A Figura 9 mostra fotografias do circuito do projeto montado para um teste experimental, onde é possível perceber pelo brilho o fornecimento da potência maior (a) e menor (b) sobre a carga. Portanto, a realização deste teste mostra que é possível obter um controle de temperatura.

A Figura 10 apresenta uma fotografia na bancada de desenvolvimento do circuito com alguns dos equipamentos e materiais necessários para o seu funcionamento, medições de sinais e verificação de testes no Laboratório de Eletrônica do IFPB – Campus Cajazeiras.

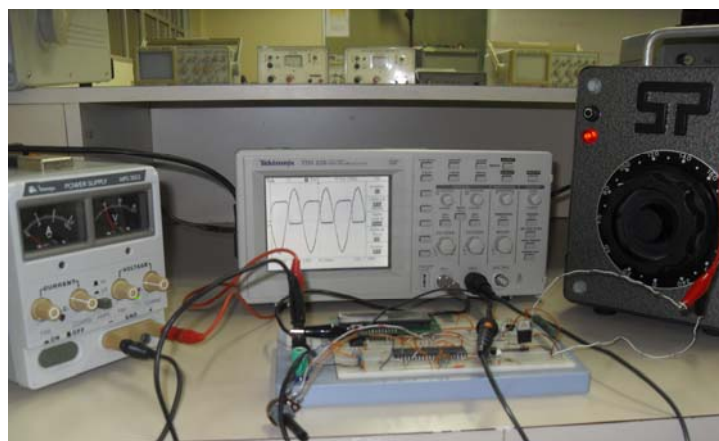


Figura 10 – Fotografia na bancada de desenvolvimento do circuito.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o desenvolvimento do projeto de um controlador de temperatura utilizando um microcontrolador da família PIC. A escolha do processo de controle de temperatura teve como justificativa a grande quantidade de plantas no meio industrial que necessitam realizar ajustes automáticos na variável temperatura, tais como fornos industriais, caldeiras, chocadeiras, estufas, entre outras. Foram apresentados os circuitos implementados, na forma de simulação e na sua montagem prática em matriz de contatos. No momento as placas de circuito estão em fase de confecção.

REFERÊNCIAS

- SILVEIRA, P. R. da S. **Automação e Controle Discreto**. 5. ed. São Paulo: Érica Ltda 2003.
- DORF, R. C. **Sistemas de Controle Modernos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LCT 2009.
- OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. Tradução Bernardo Severo. 3. ed. São Paulo: LTC 1998.
- ALMEIDA, José Luiz Antunes de. **Dispositivos Semicondutores: TIRISTORES**. 8. ed. São Paulo, 2003.

MALVINO, A. P. **Eletrônica**. 4. ed. São Paulo: Pearson Makron Books. Março, 2008.

NATIONAL SEMICONDUCTOR **LM35 - Precision Centigrade Temperature Sensores**. Novembro, 2000.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **PIC 16F877A Data Sheet. 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers**. 2003.