

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE APLICADO A UMA ESTUFA DE DESIDRATAÇÃO DE FRUTAS

Bernardo Farias Asmus – bernardoasmus@gmail.com

Bernard Naccache – skipber@gmail.com

Milena Won Dias Victorette – milenawdv@gmail.com

Dr. Roberto Alexandre Dias – roberto@ifsc.edu.br

Dr. Valdir Noll – vnoll@ifsc.edu.br

Dra. Cynthia Beatriz Scheffer Dutra – cynthia@ifsc.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC

Av. Mauro Ramos, 950

88020-300 – Florianópolis - SC

***Resumo:** Sabendo que os conhecimentos de controle, técnicas de automação e redes industriais são fundamentais para o curso de Mecatrônica Industrial, fomentou-se a possibilidade de desenvolver um protótipo didático para aplicar estes conhecimentos. Uma estufa para desidratar alimentos foi o protótipo fabricado para suprir esta necessidade. Utilizando um sensor PT-100 para fazer a aquisição de temperatura da planta, foi possível realizar um controle em malha fechada empregando um controlador lógico programável, placas eletrônicas periféricas e programas de supervisão. Um controlador proporcional e integrativo foi utilizado para garantir erro nulo e ausência de sobre sinal, fatores que são cruciais para garantir que os alimentos sejam desidratados sempre a uma mesma temperatura sem perder suas propriedades nutricionais.*

***Palavras-chave:** Controle de processo, Automação, Redes Industriais.*

1 INTRODUÇÃO

O projeto trata-se de uma estufa para desidratar frutas, no qual será elaborado de forma didática para ser utilizado pelos alunos e professores do Instituto federal de Santa Catarina na unidade curricular de Controle de Processos.

A retirada da água de alimentos sólidos, pastosos ou líquidos na forma de vapor é conhecida como desidratação. Controlando a temperatura e monitorando umidade e circulação de ar dentro da estufa conseguimos desidratar alimentos com a mínima perda de seus nutrientes.

A primeira máquina para desidratar frutas e vegetais por meios artificiais foi construída na França em 1795, entretanto a desidratação só passou a ser aplicada de forma significativa na primeira Guerra Mundial, em razão da necessidade de alimentos em larga escala destinado a suprir as tropas em combate. [4]

Produzindo calor de forma artificial e submetendo o alimento em questão a uma temperatura inferior a de ebulição da água, no caso a uma temperatura de 80°C, é possível desidratá-lo, pois ao ser aquecido a água é evaporada e sai do sistema da estufa pelas correntes internas de circulação de ar.

Desidratar frutas e outros alimentos é uma boa forma de conservá-los, reduzir a pericibilidade, evitando assim o desperdício.

1.1 Objetivo

Desenvolver e implementar um sistema que permita ensaios de controle de temperatura em uma estufa para desidratação de fruta, utilizando um controlador lógico programável. O sistema será elaborado de forma didática para ser utilizado pelos alunos e professores do Instituto federal de Santa Catarina na unidade curricular de Controle de Processos. Variáveis como umidade e circulação interna de ar serão monitoradas no sistema.

2 DESCRIÇÃO

Existem diversas máquinas que, de formas diferentes, executam a tarefa de desidratar alimentos. Na intenção de aproximar os alunos da tecnologia envolvida no controle de processos, projetou-se um protótipo didático semelhante a uma estufa.

Como objetivo, fixou-se a meta de desidratar maçãs com um desidratador no estilo “Bandeja”, onde utilizando apenas vaporização térmica abaixo da temperatura de ebulição da água. O ar quente provoca a evaporação da água nos alimentos e conduz para fora do sistema o excesso de umidade.

O protótipo estilo “Bandeja” foi escolhido por ser mais utilizado em desidratadores de pequeno porte e por ser um equipamento de funcionamento simples e barato. Consiste em uma estufa isolada termicamente no qual o calor produzido de forma artificialmente circulara pelas bandejas onde se encontram as maçãs. Controlando-se a temperatura e monitorando o sistema, demonstraremos a eficácia e a utilidade do protótipo construído.

Em contramão as qualidades do estilo de desidratador usado, temos que a sua eficiência é mais baixa que os utilizados nas indústrias de grande porte e que o tempo de ciclo de uma desidratação é muito maior. Um exemplo é um secador utilizando o método conhecido como “Flash Dryer”, onde utilizando uma máquina pneumática, ele utiliza os princípios de filtragem, decantação e centrifugação dos alimentos (principalmente alimentos na forma sólida). Nesse sistema o tempo de retenção do alimento dentro do sistema fica na ordem de 4 a 5 segundos. [1]

Tendo os requisitos do projeto elaborou-se a síntese funcional, conforme a Figura 01 abaixo.

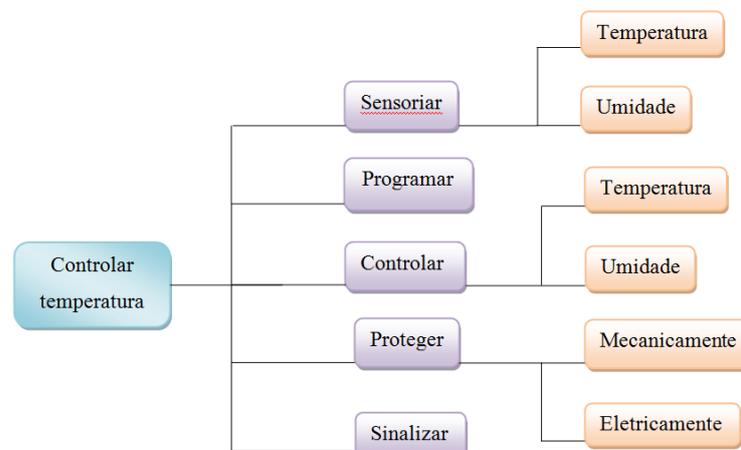


Figura 01: Síntese funcional.

2.1 Módulo Mecânico

O módulo mecânico como pode ser visto na Figura 02, será um aparato simples, no qual foi utilizado compensado virola para confecção da estufa. Uma grade de inox (para não haver contaminação do alimento) e para aquecer serão utilizadas lâmpadas incandescentes.



Figura 02: Aparato desenvolvido.

Foram realizados vários furos na superfície na qual as lâmpadas estão alocadas para que o ar pudesse passar com mais facilidade da parte de secagem do mesmo para o local que se encontram as lâmpadas e os alimentos.

Uma ventoinha alimentada por 220V (AC) foi alocada na parte superior (teto) da estrutura para que, ao acionada, retirasse o excesso de umidade e/ou gerasse perturbações no sistema para que fosse mais visível aos usuários a ação do controle em malha fechada.

Foi construído um gabinete elétrico para alocar as placas eletrônicas e para realizar as ligações elétricas. Munido de botão liga/desliga, painel de ligação e dispositivo de proteção (fusível), o gabinete isola todo o circuito da parte externa (ambiente) e também propicia um local fácil para realizar as ligações entre o CLP e as placas internas.

2.2 Módulo Eletrônico

Como o objetivo do projeto é utilizar um CLP para realizar o controle do sistema, fez-se necessário a criação de circuitos periféricos para auxiliar e permitir a utilização do controlador lógico programável. O módulo em questão dispõe de fontes VCC de 5, 12, 15 e 24 volts para alimentar os circuitos do módulo como CI's, FAN's utilizados para distribuição do ar dentro da estufa e para alimentar o módulo analógico do CLP. Para amplificar o sinal dos sensores de temperatura e umidade, utilizou-se o AD620, que pode proporcionar ganho de até 1000 vezes, e tornou o sinal de saída dos sensores mais mensurável pelo CLP.

O sinal de comando de chaveamento para as lâmpadas provém do TCA780, que faz o controle em sinais de corrente alternada além de possuir características importantes como identificar a passagem da senóide pelo zero.

Para isolar a parte do comando (potência elevada) com o resto do sistema, utilizamos um opto acoplador MOC, que tem a característica de isolar dois sistemas onde um deles o sinal é alternado da rede comercial (220V).

Analisando as especificações dos CI's utilizados e buscando os componentes mais difundidos no mercado, optamos por alimentar os sistemas envolvidos com 15 Vcc e 5Vcc. A fonte contém saídas 12 Vcc, -5 Vcc, 5Vcc, 15Vcc e 24Vcc, onde cada uma das saídas poderá fornecer até 1,0 A. A saída de 24 V terá um diodo zener de 25V e 0,5 Watts para evitar sobre tensão neste sinal, pois ele alimentará o módulo analógico do CLP.

Após receber o sinal do TCA, o tiristor faz o chaveamento das lâmpadas obedecendo o sinal que recebe e assim terminando o ciclo do controle em malha fechada. Foi necessário o uso de um TIC216D, que agüenta correntes até 8 A, e de um dispositivo para isolar o circuito de potência (lâmpadas) com o circuito de comando de chaveamento (sinal de saída do TCA), no caso um opto acoplador MOC. Na Figura 03 abaixo, mostra de um lado a entrada do sinal da Fase e Neutro das lâmpadas e no outro o sinal de saída do controle da senóide.

Foi necessário também a implantação de um resistor cerâmico de 100pF para filtrar picos de tensão na entrada do opto acoplador, evitando picos de luminosidade nas lâmpadas.

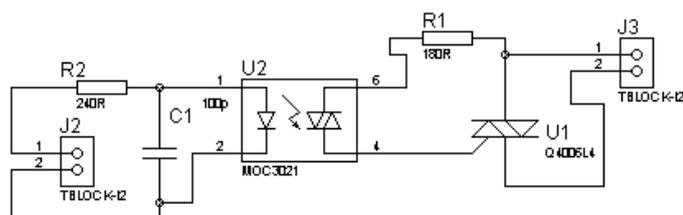


Figura 03: Esquemático do circuito de chaveamento.

Para realizar o chaveamento das lâmpadas, uma ligação entre elas foi necessário. Ligadas em paralelo, uma das linhas de conexão vai conectada a fase da rede elétrica e a outra linha é ligada a uma saída da placa de chaveamento. O neutro da rede elétrica é ligado a outra saída da placa, assim quando o TIC for comandado, o neutro da rede é ligado na linha que também está ligada na saída da placa. A Figura 04 a seguir demonstra melhor este estilo de ligação.

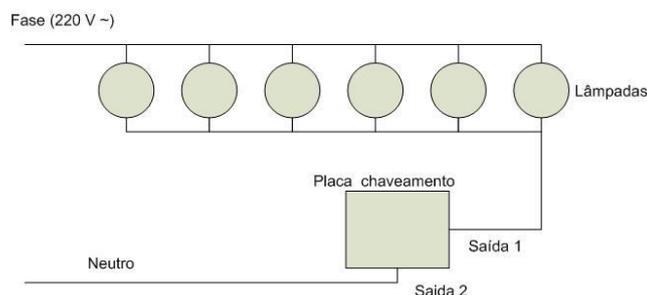


Figura 04: Ligação das lâmpadas.

Como o sinal de saída dos sensores usados neste projeto estão na casa de milivolts, a leitura deles pelo CLP é praticamente impossível. O AD620 amplifica o sinal dos sensores em até 1000 vezes, tornando-o menos sensível a erros e mais mensurável pelo controlador. A Figura 05, abaixo apresenta o esquemático desse circuito que possui um capacitor de desacoplamento de 100n ligado ao AD, capacitor cerâmico de 100p para filtro do sinal amplificado e um diodo zener 1N4740 de 10 volts para garantir que o sistema não ultrapasse o valor máximo de entrada do CLP. No circuito, alimentamos o sistema com 5Vcc e -5Vcc e utilizamos uma ponte de Wheatstone junto ao sensor PT-100 e um trimpotmultivolts de 500R para ajustar a tensão de saída.

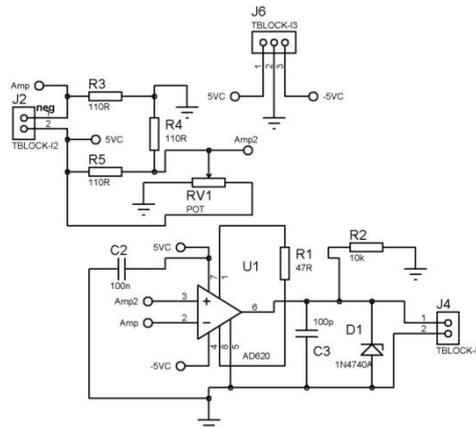


Figura 05: Esquemático do circuito do amplificador de sinal AD620.

Para fazer enviar o sinal de chaveamento e controlar a senóide da corrente alternada, utilizou-se o integrado TCA780, pois além de desempenhar as funções acima descritas, possui características ímpares como detectar a passagem pelo zero da senóide e com isso sincroniza o controle CA com a frequência de referência. Dependendo da magnitude do sinal do pino 11 do CI em questão, o ângulo de corte pode deslocar-se em um ângulo de fase entre 0 e 180°, modificando assim a potência disponível para a planta.

Para disponibilizar os sinais de controle (pinos 15 e 14), o TCA utiliza a tensão de sincronização (pino 5) para criar uma referência na forma “Dente de Serra”(pino 10). De acordo com a tensão de entrada no circuito, o pulso nos pinos de controle se deslocam sobre o dente de serra, correspondendo assim ao ângulo de corte da senóide de controle da planta. A largura do dente de serra pode ser modificada pelo projetista apenas modificando a tensão no pino 9 via potenciômetro. Como no projeto a tensão de entrada não ultrapassa 10V, o potenciômetro em questão foi ajustado para que a amplitude máxima da forma de onda em questão (dente de serra) não ultrapassasse este valor de tensão. A Figura06 abaixo, apresenta o esquemático desse circuito.

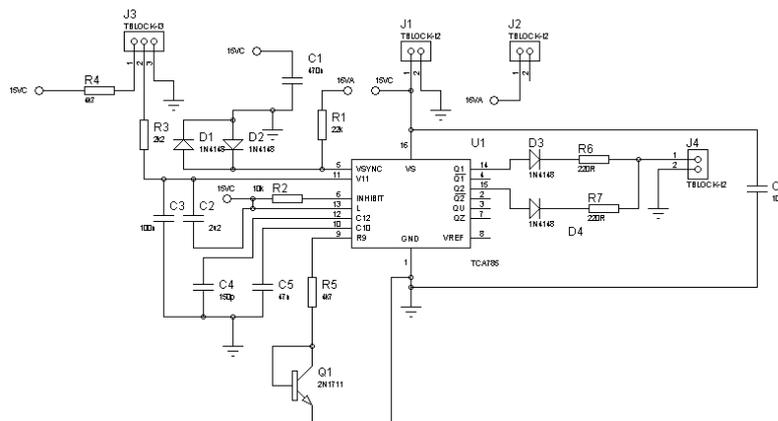


Figura 06: Esquemático do circuito com TCA780.

2.3 Funcionamento

Para melhor entendimento, na Figura 07 abaixo temos o fluxograma que representa o software do funcionamento. Após iniciar ele irá verificar a tensão da fonte e comparar com a tensão de referência, caso a tensão esteja mais alta que a referência, significará que a intensidade das lâmpadas está mais alta que a desejada (implicando temperatura alta), assim o

sistema atuará para diminuir essa intensidade, aumentando a tensão do controle, pois o sistema trabalha de forma reversa. Caso a tensão esteja abaixo da referência, significará que a intensidade das lâmpadas estará abaixo do desejado (implicando temperatura baixa), nesse caso o sistema atuará para aumentar a intensidade das lâmpadas, diminuindo a tensão.

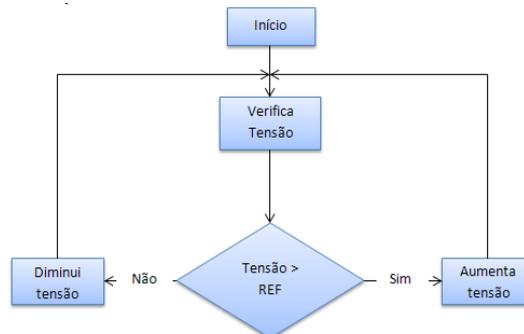


Figura 07: Fluxograma do funcionamento.

2.4 Controle e aquisição de dados

De acordo com a planta do controle, Figura 08, determinou-se a função transferência que pode ser observada na “Equação (1)”, utilizando dados previamente calculados.

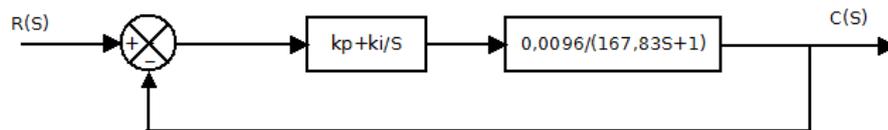


Figura 08: Planta de controle.

$$FT(S) = \frac{0,0096 k_p S + 0,0096 k_i}{167,83 S^2 + (1 + 0,0096 k_p) S + 0,0096 k_i} \quad (2)$$

Um dos requisitos do projeto era a obtenção de erro nulo, e para isto foi aplicado o integrador nos garantindo isto, outro requisito utilizamos para os cálculos foi a obtenção do tempo de acomodação de 560 segundos, para isto utilizamos a equação do tempo de acomodação para descobrirmos um pólo. Como deseja-se obter sobre-sinal nulo, determinamos um polinômio com pólos iguais (sistema criticamente amortecido), após a determinação de um dos pólos é necessário apenas dividir o polinômio característico (Q(S)) pelo polinômio de pólos iguais. Após determinar os valores de k_p e k_i , foram feitos ajustes para que o sistema se tornasse mais rápido sem perder as características principais.

Substituindo na função transferência obtemos a “Equação (2)”.

$$FT(S) = \frac{0,85S + 0,0070}{167,83S^2 + 1,85S + 0,0070} \quad (3)$$

A Figura 09 apresenta a curva da função (“Equação (2)”), utilizando o software Matlab.

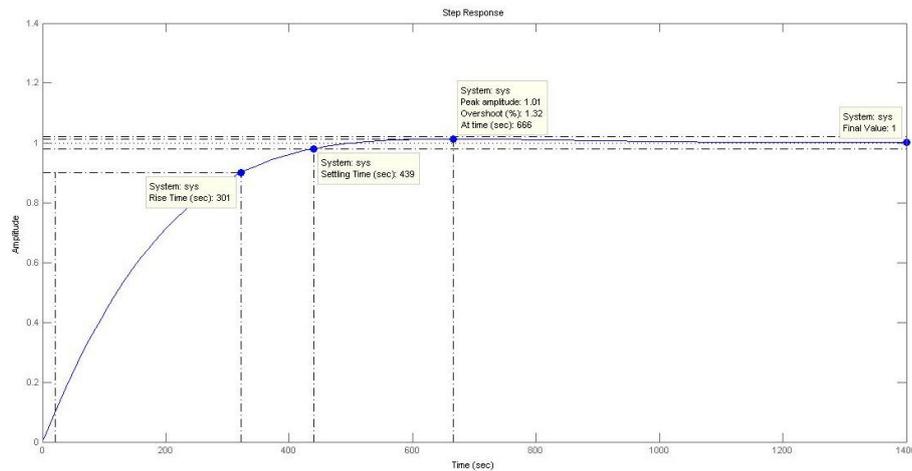


Figura 09: Curva do sistema em malha fechada.

2.5 Sistema supervisório

Para tornar o sistema mais didático, utilizamos uma ferramenta computacional (*Elipse Software*) para criarmos uma interface de supervisão, Figura 10, onde o aluno pode monitorar e modificar dados do sistema em tempo real. Valores de controle e temperatura de referência são exemplos de variáveis que podem ser modificadas em tempo de funcionamento.

Utilizando um driver para comunicação via *Modbus*, o CLP se comunica via Ethernet com o computador que utiliza a ferramenta *Elipse*. Na tela do supervisório, um LED indica quando o sistema esta operante, os campos de mudança de parâmetros estão disponíveis e um gráfico mostra a temperatura do sistema em tempo real.

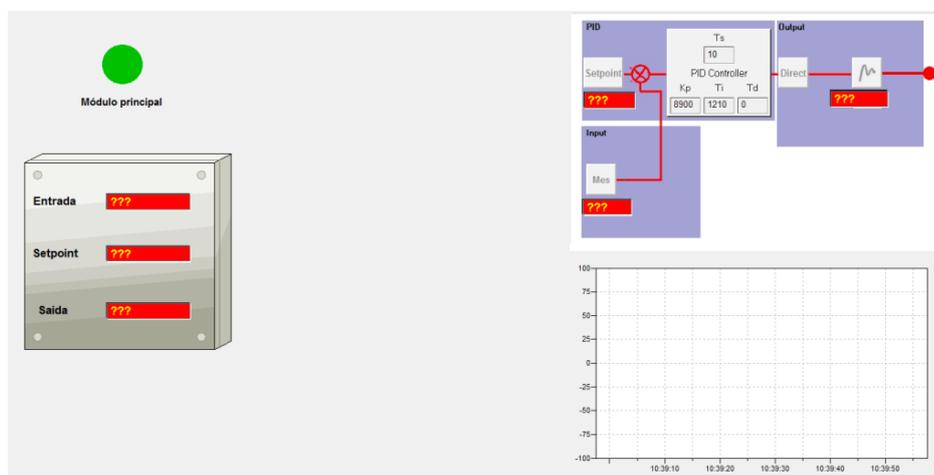


Figura 10: Janela principal do supervisório.

3 RESULTADOS

Após determinar e calcular o controlador, foi utilizado o CLP para o controle, a Figura 11 apresenta o software utilizado para configurar os parâmetros do controle.

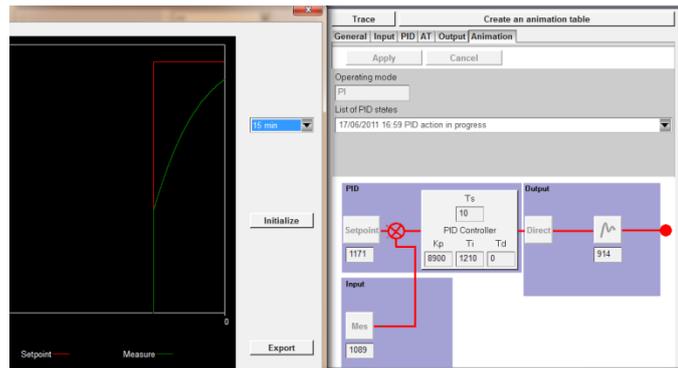


Figura 11: Software do CLP.

Aplicando o controle no sistema real obtivemos o gráfico apresentado na Figura 12, abaixo.

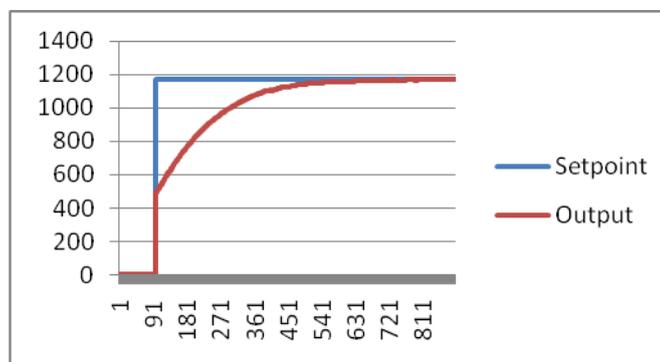


Figura 12: Curva de resposta ao controle.

No CLP, os valores de referência vão de 0 até 4095, que em tensão correspondem a 0 e 10 V. Portanto, o valor de 1171 corresponde a 2,86V que por sua vez corresponde a temperatura de 80°C da planta estudada.

O controle teve resultado satisfatório, pois atingiu a temperatura desejada no tempo previsto e teve sobre-sinal consideravelmente nulo para um controle proporcional e integrativo.

Por tratarmos de um sistema lento, optamos por classificá-lo como didático, pois o mesmo se comporta muito lentamente para atingir o que se é pedido. A medida tomada de utilizar lâmpadas de 60W ao invés de uma termo-resistência foi crucial para tal denominação da planta.

Uma opção de mudança do projeto seria a troca das lâmpadas de 60W por outras de 100W, forçando o sistema a atingir a sua meta em menos tempo, porém gastando mais energia. Outra opção de mudança seria a implementação de um sensor de umidade, que poderia trabalhar em sistema de malha aberta ou fechada, controlando a atuação da ventoinha de exaustão da planta.

A Figura 13 apresenta o protótipo da estufa finalizado e em funcionamento.

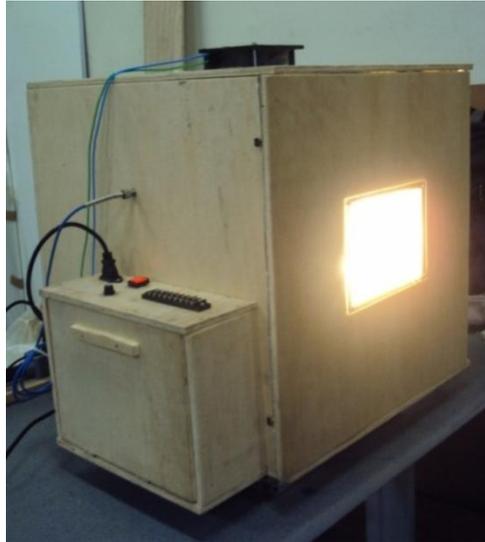


Figura 13: Protótipo finalizado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Obteve-se êxito ao concluir o projeto, os resultados foram satisfatórios, alcançando os objetivos de controlar a estufa.

Devido ao fato de ser um sistema lento, não é adequado para comercialização, somente para fins didáticos.

Este projeto propiciou um ótimo aprendizado em todas as áreas estudadas pelo curso neste semestre, pois utilizamos redes e protocolos industriais para comunicar CLP e supervisor, técnicas para automatizar a planta, utilizamos as técnicas de controle para garantir a temperatura desejada e necessitamos da sabedoria de manutenção de sistemas para confeccionar um manual de instruções do projeto.

5 REFERÊNCIAS

- [1] Informações sobre desidratação de alimentos. Disponível em: <http://bragante.br.tripod.com/desidracao.html>. Acesso em: 18/02/2011
- [2] MELONI, Pedro Luis Santos. *Desidratação de frutas e hortaliças*. 10^a semana internacional da fruticultura, floricultura e agroindústria. Fortaleza, Ceará. 2003
- [3] Figura frutas desidratadas. Disponível em: <http://www.empregoerenda.com.br/paginas/91/1/frutas-desidratadas-uma-opcao-de-saude-e-renda>. Acesso em 16/02/2011.
- [4] Câmara multidisciplinar de qualidade de vida. Disponível em: <http://cmqv.org/website/artigo.asp?cod=1461&idi=1&moe=212&id=16087> Acesso em: 15/02/2011.
- [5] Fonte Figura 2. Disponível em: <http://www.desidratadoras.hpg.ig.com.br/> Acesso em: 20/02/2011.
- [6] Desidratador Modelo MS-M. Disponível em: <http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/equipamentos-industriais/maquinas-industriais/desidratador-de-alimentos-frutas-hortalicas-ervas-e-cogumelos-modelo-ms-m-186976>

Acesso em: 20/02/2011.

[7] DesidratadorPD-250. Disponível em:

<http://www.polidryer.com.br/scripts/desidratadorpd250.htm>

Acesso em: 20/02/2011.

[8] OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, Prentice Hall, 4a. Edição, 2003.

[9] BENTO, Celso Roberto. Sistemas de Controle – Teoria e Projetos. Érica, São Paulo, 1989.

[10] Elipse Software. Disponível em:

www.elipse.com.br

Acesso em: 16/05/2011.

[11] Datasheet TCA 780. Disponível em:

www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/45801/SIEMENS/TCA785.html

Acesso em: 20/05/2011

[12] Lutz, Ismael. E. , SCHEFFER-Dutra, Cynthia B. MÓDULOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS. Caderno de Resumo das Pesquisas do IF-SC 2009-2010 / Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Santa Catarina. (2010) – Florianópolis: Publicações do IF-SC, 2010

HEATER CONTROL FOR FRUIT DEHYDRATION

Abstract: *Knowing that the learning of control, automation techniques and industrial networks are essentials for the Mechatronics Industrial course, the possibility to develop a didactic prototype to apply these knowledge was promoted. A heater to dehydrate food was the manufactured prototype to suppress this need. Using a PT-100 sensor to make the plant temperature acquisition, a closed loop control was possible using a logic programmable controller, peripherals electronic boards and supervision programs. A proportional and integrative controller was used to ensure a null error and absence of over signal, factors that are crucial to ensure the same temperature for food dehydration without losing its nutritional properties.*

Key-words: *Process control, Automation, Industrial networks.*