



DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA TÉRMICA MULTIVARIÁVEL BASEADA EM MÓDULOS PELTIER

Rafael B. C. Lima – rafael.lima@ee.ufcg.edu.br

Chistian Charles Dias – chistian.dias@ee.ufcg.edu.br

Péricles R. Barros – prbarros@dee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande

Rua Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário

CEP: 58429-900 – Campina Grande – Paraíba

Resumo: É apresentado nesse trabalho o planejamento e a construção de uma planta térmica didática usada em aulas práticas para alunos de Engenharia de Controle e Automação. O módulo desenvolvido permite que os alunos tenham contato com situações mais próximas das reais e conheçam aplicações para os conteúdos teóricos ministrados em sala de aula. A planta construída é baseada no efeito peltier e tem como objetivo integrar diversas áreas de ensino nas disciplinas de sistemas de controle, eletrônica e redes industriais.

Palavras-chave: Efeito Peltier, Modbus, Sistemas de controle, supervisão.

1. INTRODUÇÃO

O módulo didático desenvolvido neste trabalho busca integrar os conteúdos teóricos e práticos ministrados nas disciplinas do curso de Engenharia de Controle e Automação, favorecendo a interdisciplinaridade e propiciando um ambiente de testes, para ensino e pesquisa.

Com o auxílio deste módulo é possível abordar tópicos em Redes Industriais usando o padrão Modbus, ou sistemas embarcados sobre a plataforma .NET Micro Framework, porém a sua principal finalidade é o estudo prático de sistemas de controle em geral. É possível aplicar na planta uma série de estratégias de identificação e controle propostas nas disciplinas teóricas, ratificando os conceitos apresentados em sala de aula.

O módulo é composto de dois elementos peltier acionados separadamente o que possibilita o estudo de estratégias de controle multivariáveis. Como a montagem é acoplada termicamente, é possível analisar as malhas diretas e cruzadas, assim como pode ser feito um estudo de perturbações de carga.

2. DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA

2.1. Hardware utilizado

Módulo peltier

Por volta de 1834, o cientista chamado Jean Charles Athanase Peltier observou que, ao submeter um termopar a uma tensão, surgia uma diferença de temperatura entre as junções. E

dependendo do sentido de circulação da corrente, haveria um acréscimo da temperatura na junção ou uma redução. A este fenômeno, foi dado o nome de “Efeito Peltier”.

Os módulos ou pastilhas peltier, ou ainda pastilhas termoelétricas, funcionam pelo princípio do efeito peltier. Normalmente estes módulos são constituídos de um material semiconductor, o telureto de bismuto, sendo fortemente dopando para a criação de material tipo n e material tipo p. Ao ligar uma fonte de tensão na célula peltier, conforme demonstrado na Figura 1, se estabelece um fluxo de cargas do material semiconductor P para o semiconductor N. Este fluxo origina uma diferença de temperatura entre as superfícies da junção. Assim, uma superfície irá aquecer, enquanto a outra resfria-se.

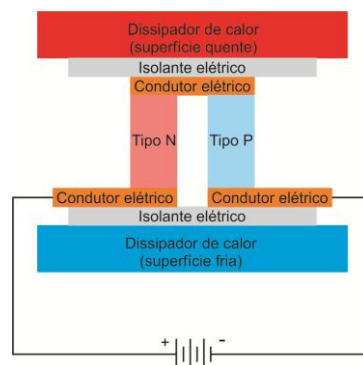


Figura 1 – Célula peltier.

Normalmente estas células são combinadas eletricamente em série, e termicamente em paralelo. Estes vários agrupamentos em série, são interligados de forma a compor o módulo peltier, ver Figura 2.

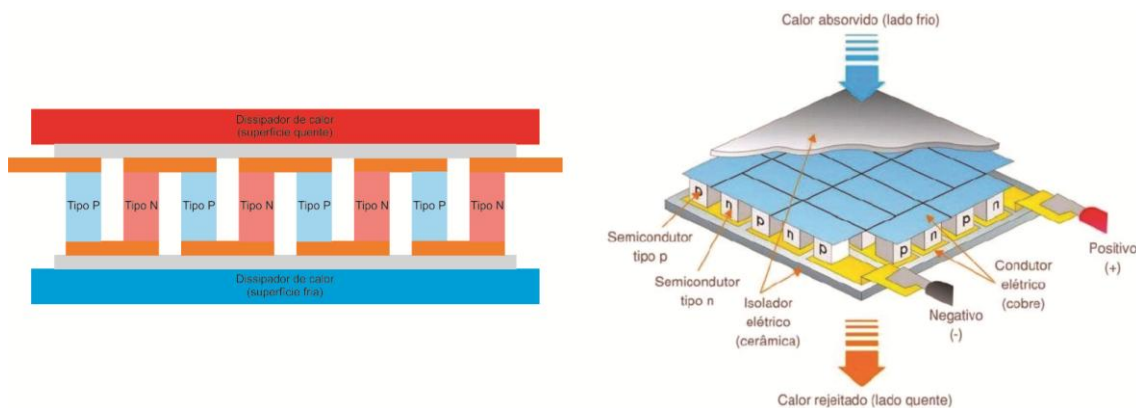


Figura 2 – Módulo peltier.

Na montagem da planta térmica, foram utilizados dois módulos peltier modelo CP1.0-127-06 do fabricante Melcor. As características e térmicas e elétricas estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do módulo peltier.

Temperatura da superfície quente	25 °C	50 °C
---	--------------	--------------

Qmax (watts)	25,7	29,1
Delta Tmax (°C)	67	77
Imax (A)	3,0	3,0
Vmax (V)	15,4	16,4
Resistência do módulo (Ω)	4,35	4,90

Cada módulo possui uma face acoplada ao dissipador de calor de um cooler, com o objetivo de melhorar a troca de calor com o ambiente. A outra face dos módulos, está acoplada termicamente a uma peça cilíndrica de alumínio sólido, composta por 3 discos de diâmetros diferentes, conforme a Figura 3. Nesta peça de alumínio, estão fixados os sensores de temperatura LM35.

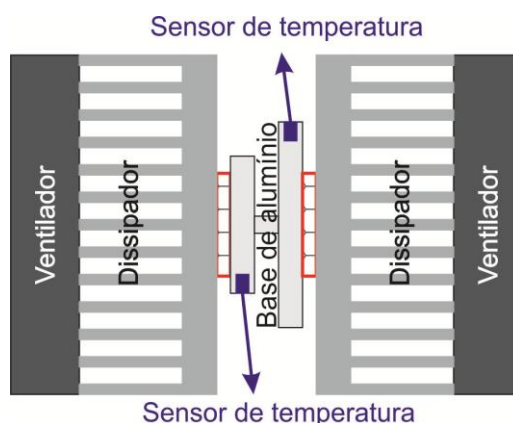


Figura 3 – Montagem dos módulos peltier.

Circuito eletrônico

O kit de desenvolvimento USBizi, fabricado pela GHI Electronics, é responsável por realizar a comunicação com o PC, acionar os drivers de potência e realizar a leitura dos sensores de temperatura. Este kit possui um microcontrolador ARM7 de 32 bits rodando a 72 MHz, assim como vários periféricos do tipo, PWM; USB; GPIO; USART; entradas analógicas; entre outros. Seu firmware é desenvolvido sobre a plataforma .NET Micro Framework da Microsoft, utilizando o Visual Studio 2010.

Para o acionamento dos módulos peltier, foram utilizados quatro transistores MOSFET canal N, para cada módulo. Estes transistores foram interligados formando um circuito de uma ponte H, possibilitando a inversão no sentido da corrente nos módulos. A inversão da corrente ocasiona uma inversão no sentido de fluxo de calor, assim, a superfície que estava quente passará a esfriar, e vice-versa. O USBizi é interligado ao driver de potência por meio das saídas digitais e do PWM. As saídas digitais são utilizadas para selecionar o sentido da corrente nos módulos, já o PWM, é responsável por realizar o acionamento das chaves eletrônicas, possibilitando o controle da potência transferida para os módulos.

O monitoramento da temperatura da carga de alumínio é realizado por dois sensores LM35. Este sensor possui uma saída de tensão analógica, cujo valor é diretamente proporcional ao aumento da temperatura ao qual está submetido, mais precisamente 10mV/°C. A saída de cada sensor é conectada a um circuito amplificador de tensão, que tem como objetivo, melhorar o condicionamento do sinal para que ele seja aplicado a entrada

analógica do USBizi. Na saída do circuito amplificador, tem-se um sinal analógico de aproximadamente $30\text{mV}/^\circ\text{C}$.

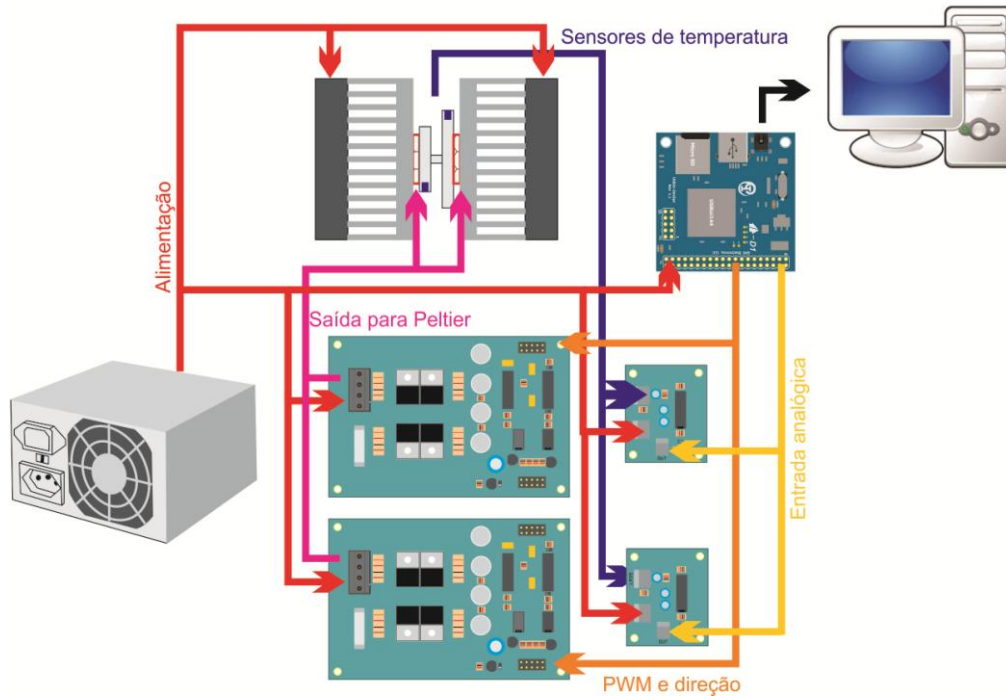


Figura 4 – Diagrama de ligação.

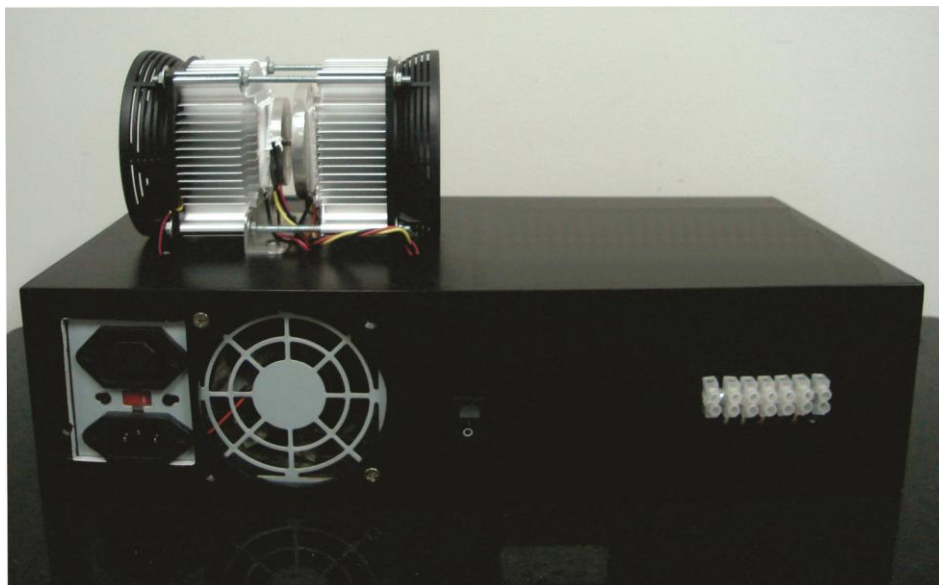


Figura 5 – Foto da planta.

2.2. Interface de comunicação

Foi implementada uma versão simples do conhecido protocolo Modbus entre o PC de supervisão e o microcontrolador embarcado na planta didática. As informações escritas e lidas no software de supervisão são posteriormente salvas em um arquivo de texto ou disponibilizadas via servidor OPC.

Protocolo Modbus

Modbus é um protocolo de comunicação desenvolvido principalmente para sistemas de automação industrial. Criado originalmente em 1970 pela Modicon, é um dos protocolos mais antigos e ainda hoje largamente utilizado em redes de Controladores Lógico Programáveis (CLP).

O protocolo especifica que o modelo de comunicação é do tipo mestre-escravo. Assim, um escravo não deve iniciar nenhum tipo de comunicação no meio físico enquanto não tiver sido requisitado pelo mestre. Na planta didática desenvolvida o PC é o mestre e o microcontrolador o escravo, conforme ilustrado na Figura 6.

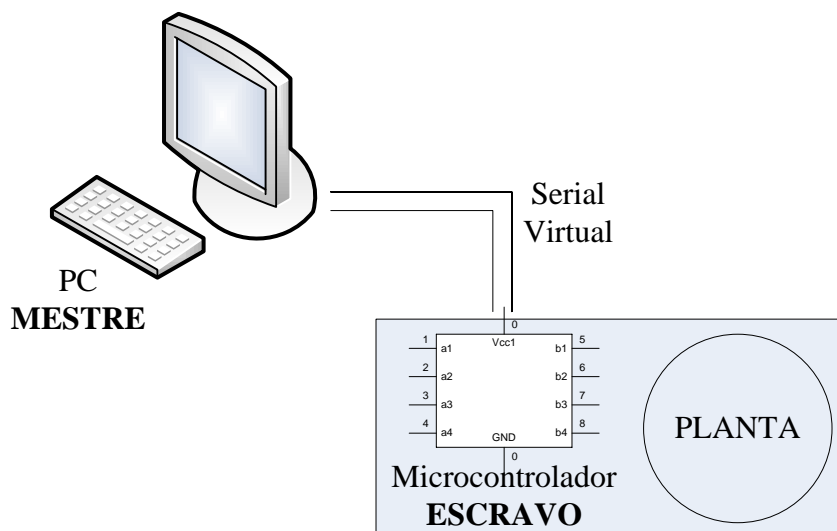


Figura 6 – Arquitetura Modbus .

Os pacotes de comunicação do Modbus obedecem a um frame que contém o endereço do dispositivo escravo, o comando a ser executado, dados suplementares variáveis e um código para verificação de erro (CRC). Os frames implementados seguiram o formato ilustrado na Figura 7



Figura 7 – Pacote de dados Modbus .

Foi implementado somente um conjunto reduzido de comandos capazes de realizar operações de leitura e escrita de variáveis, conforme a Tabela 2

Tabela 2 – Comandos implementados.

Comando	Descrição
0x01	Leitura de 1 bit
0x04	Leitura de palavras de 2 bytes
0x05	Escrita de 1 bit
0x06	Escrita de palavras de 2 bytes

Protocolo OPC

OPC (OLE for Process Control) é um conjunto de protocolos de comunicação industrial especificamente desenvolvido para possibilitar um alto grau de interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, dispensando a necessidade de drives específicos para cada aplicação.

A comunicação entre o software de supervisão e os eventuais dispositivos de controle, CLPs ou softwares de tratamento de dados como o Matlab, é realizada via uma arquitetura cliente servidor OPC. Observa-se na Figura 8 um diagrama esquemático dessas ligações

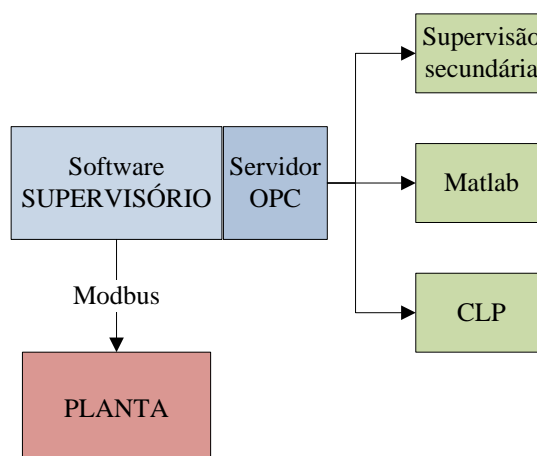


Figura 8 – Arquitetura OPC .

Software supervisorio

Foi implementado um software de supervisão em C# no qual é realizada a interface entre a planta desenvolvida e o usuário do sistema. Como explicado previamente, a comunicação entre o supervisorio e a planta é realizada via Modbus e entre o supervisorio e qualquer outra aplicação, via OPC. É mostrado na Figura 9 a tela principal do software de supervisão.

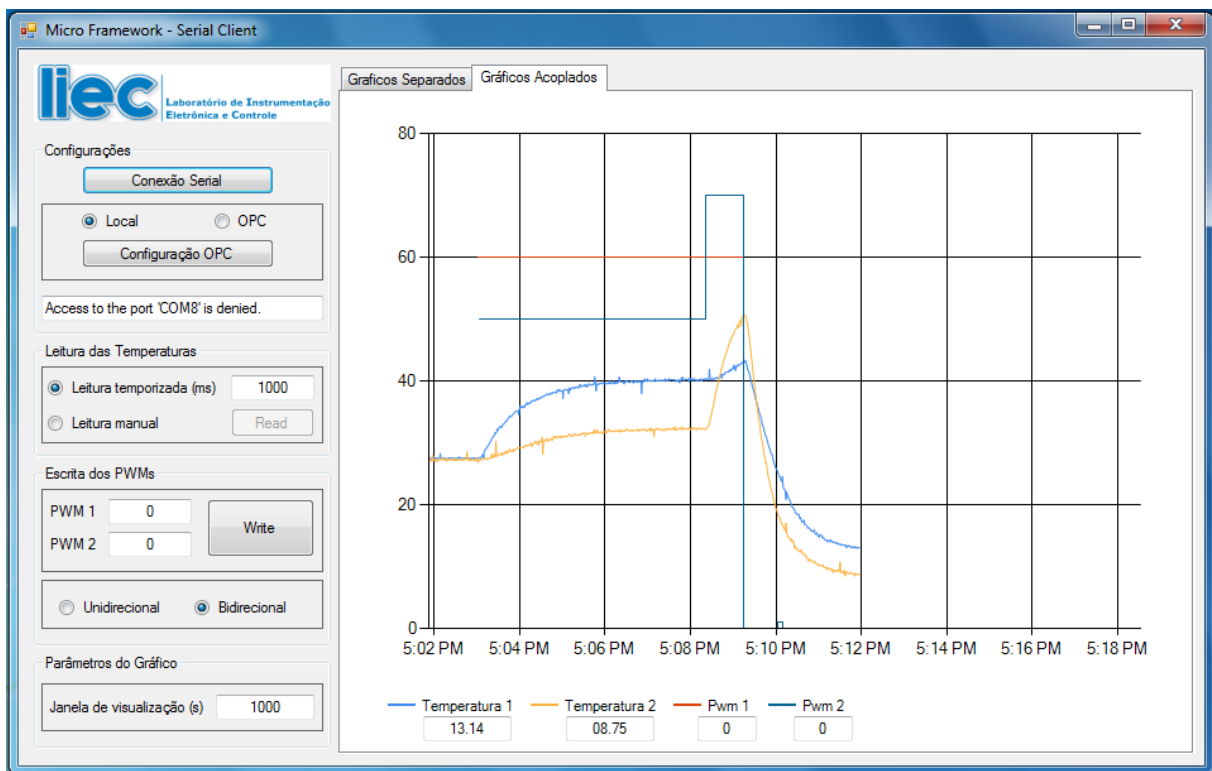


Figura 9 – Software supervisorio.

Primeiramente é realizada a configuração da porta serial, através do botão “Conexão Serial”, em seguida é escolhido se a manipulação de dados vai ser de forma local ou via OPC. A leitura das temperaturas pode ser feita de modo assíncrono ou de forma temporizada, através do painel “Leitura das temperaturas”. Por fim as tensões nos peltiers são inseridas no painel “Escritas dos PWMs”, frisando que o modo unidirecional aplica somente tensões positivas nos módulos, enquanto o modo bidirecional permite tensões negativas.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com o intuito de ilustrar a aplicação da plataforma no contexto de ensino de disciplinas da área de identificação e controle, é proposto um experimento prático para o levantamento de modelos matemáticos de primeira ordem com atraso (FOPTD) através da resposta ao degrau do sistema.

3.1. Experimento

A etapa experimental consiste na aplicação de dois sinais em degrau, de forma seqüencial nas duas entradas da planta. A tensão na primeira pastilha varia de 0 a 5V enquanto a tensão na segunda pastilha permanece constante. Logo após a segunda malha é excitada variando a tensão de 0 a 5V na segunda pastilha, mantendo a primeira pastilha em 0. Os sinais são coletados com um tempo de amostragem de 1s, resultando nas Figuras 10 e 11.

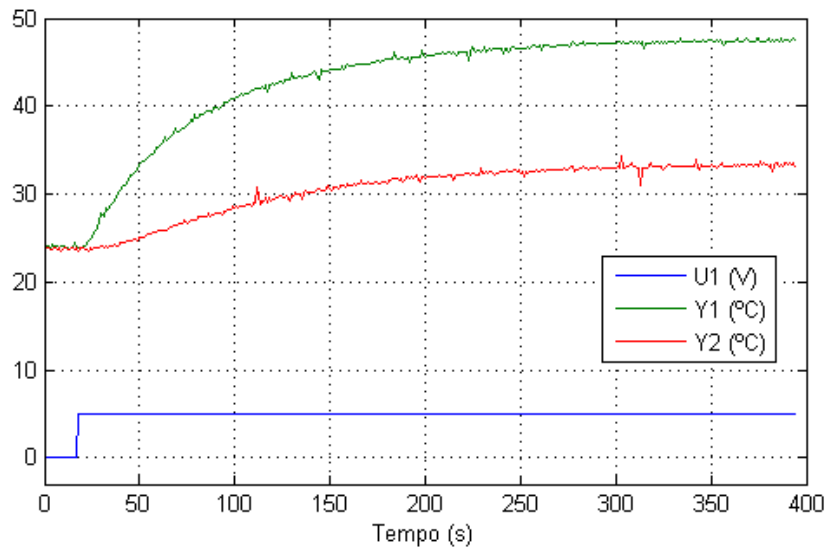


Figura 10 – Resposta do sistema a uma excitação em degrau na entrada 1

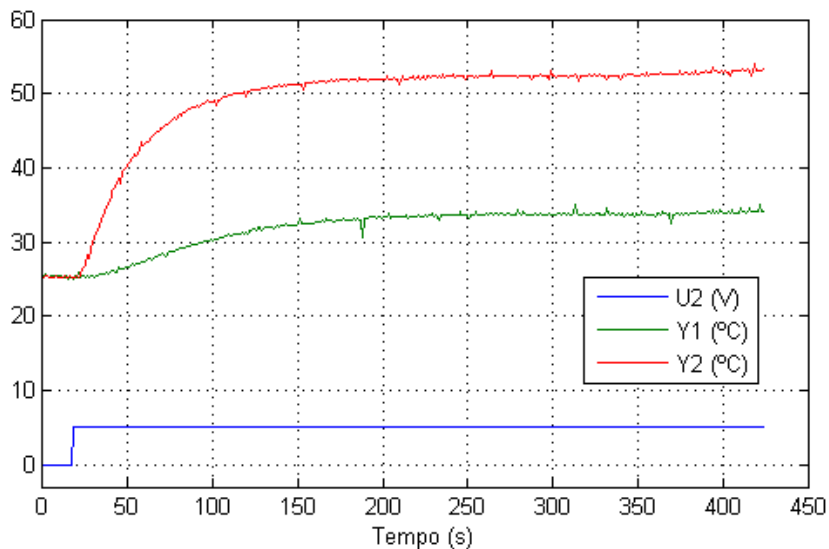


Figura 11 – Resposta do sistema a uma excitação em degrau na entrada 2

3.2. Identificação de modelos FOPTD

A partir dos dados coletados na etapa experimental, foram identificados quatro modelos de primeira ordem com atraso, que representam as dinâmicas diretas e cruzadas entre as duas entradas e duas saídas da planta piloto. As funções de transferência na notação multivariável, são representadas conforme a Equação 1



$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.47e^{-1.01s}}{(65.85s + 1)} & \frac{0.17e^{-21.29s}}{(67.54s + 1)} \\ \frac{0.19e^{-20.28s}}{(97.5s + 1)} & \frac{0.54e^{-3.04s}}{(38.85s + 1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Devido à assimetria da barra de alumínio entre as pastilhas peltier, observa-se uma diferença entre as constantes de tempo dominantes diretas e cruzadas, assim como a estimativa do atraso é distinta para cada par entrada saída.

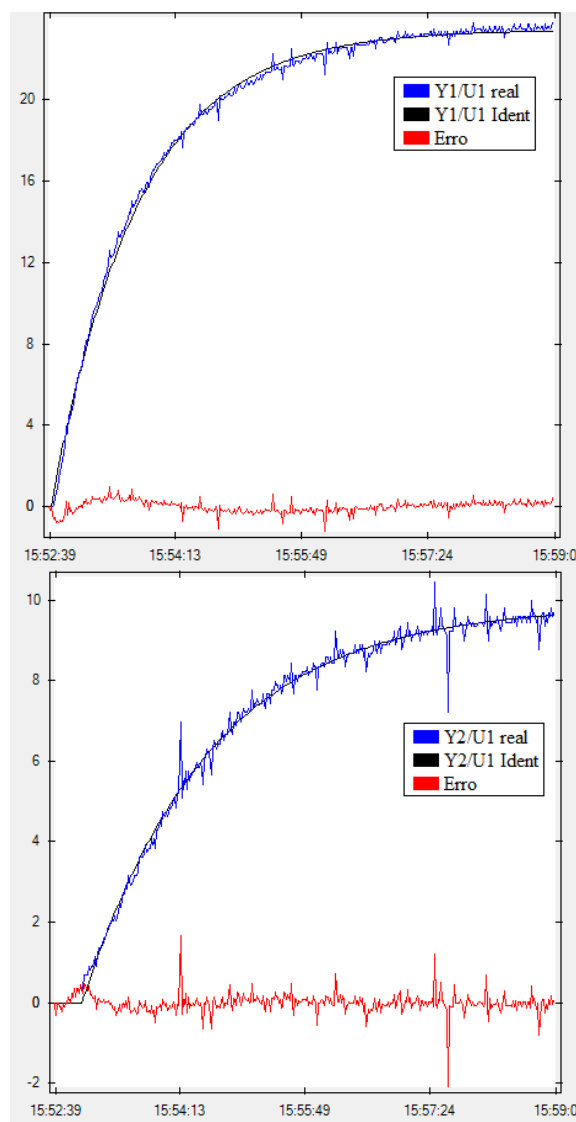


Figura 12 – Resposta do sistema real e simulado a uma excitação em degrau na entrada 1.

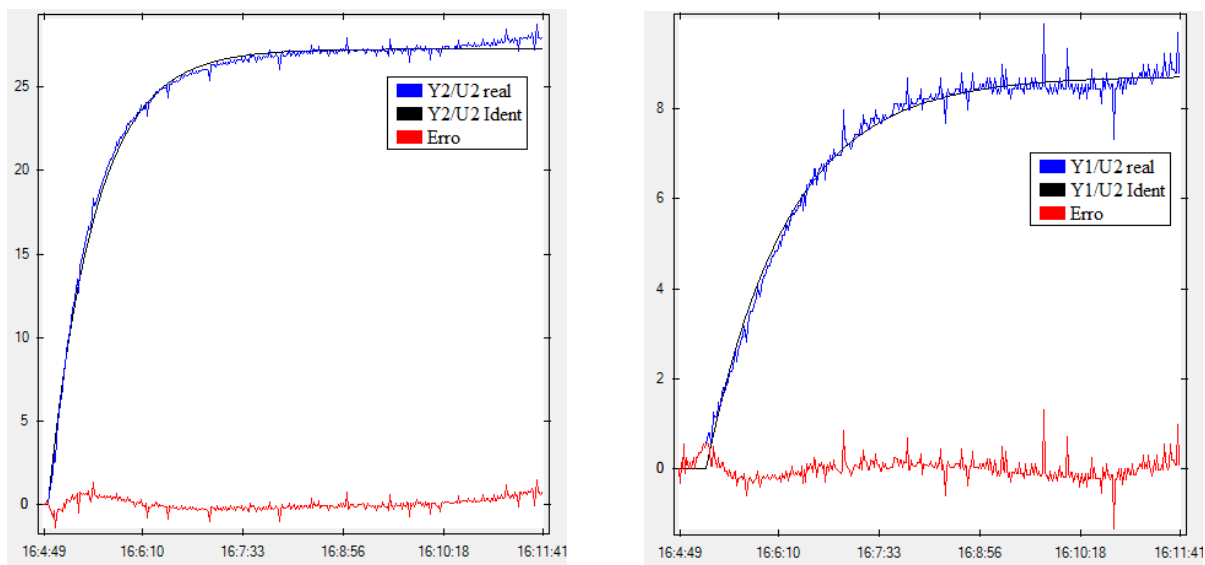


Figura 13 – Resposta do sistema real e simulado a uma excitação em degrau na entrada 2.

4. CONCLUSÕES

Foi mostrado nesse trabalho que é possível elaborar uma planta de ensino de baixo custo, porém complexa ao ponto de poder ser utilizada no ensino de disciplinas da área de controle e automação. Tal planta pode ser utilizada nas disciplinas de identificação, controle, redes industriais, automação entre outras.

5. REFERÊNCIAS

The Heatsink Guide: Peltier Guide. Disponível em:

< <http://www.heatsink-guide.com/peltier.htm> > Acesso em: 21 maio 2014.

Thermoelectric Handbook. Disponível em:

< <http://www.lairdtech.com/Products/Thermal-Management-Solutions/Thermoelectric-Modules/#.U31fsvldVK8> > Acesso em: 21 maio 2014.

USBizi User Manual. Disponível em:

< http://www.ghielectronics.com/downloads/man/USBizi100_Chipset_User_Manual.pdf > Acesso em: 21 maio 2014.

Modbus Application Protocol Specification (V1.1b3). Disponível em:

< <http://www.modbus.org/> > Acesso em: 21 maio 2014.

OPC Unified Architecture. Disponível em:

< <https://opcfoundation.org> > Acesso em: 21 maio 2014.

Isermann, R e Munchhof, M. Identification of Dynamic Systems, Springer 2011



Roffel, B e , B. Process Dynamics and Control Modeling for Control and Prediction, John Wiley & Sons, Ltd 2006

Mikleš, J. e Fikar, M. Process Modelling, Identification, and Control, Springer 2007

DEVELOPMENT OF A MULTIVARIABLE THERMAL PLANT BASED ON PELTIER MODULES

Abstract: *It is presented in this paper the design and construction of a thermal plant used in teaching practical lessons for students of Control Engineering and Automation. The developed module allows students to have contact with practical situations and apply the theoretical content taught in the classroom. The plant is based on the Peltier effect, and aims to integrate various areas of teaching. Disciplines of control systems, electronics and industrial networks.*

Keywords: *Peltier Effect, Modbus, control, supervision systems.*