

Larissa de Melo Soares

Instalação e configuração da IHM e Elaboração de kit didático

João Pessoa - Paraíba - Brasil

2014

Larissa de Melo Soares

Instalação e configuração da IHM e Elaboração de kit didático

Relatório de Estágio Interno submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica

Orientador: Carlos Alberto de Souza Filho

João Pessoa - Paraíba - Brasil

2014

Larissa de Melo Soares

Instalação e configuração da IHM e Elaboração de kit didático

Relatório de Estágio Interno submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Carlos Alberto de Souza Filho
Orientador

Juan Moises Mauricio Villanueva
Avaliador 1

Darlan Alexandria Fernandes
Avaliador 2

João Pessoa - Paraíba - Brasil
2014

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comunicação direta do CLP com a IHM	8
Figura 2 – Cabo serial para conectar a IHM ao CLP	8
Figura 3 – Tela principal da IHM	9
Figura 4 – Tela da IHM com os botões	10
Figura 5 – Tela da IHM com os sensores	10
Figura 6 – Tela da IHM com a temperatura	10
Figura 7 – Diagrama de blocos do kit didático	12
Figura 8 – Estrutura do kit didático montada no laboratório	12
Figura 9 – PWM analógico	13
Figura 10 – Driver de potência para o resistor	14
Figura 11 – Driver de potência - Circuito feito na placa	14
Figura 12 – Estrutura do termopar	16
Figura 13 – Condicionamento do sinal para o microcontrolador	17
Figura 14 – Condicionamento do sinal para o microcontrolador	17
Figura 15 – Curva de temperatura em malha aberta	19
Figura 16 – Estimativa da curva de temperatura em Primeira Ordem	20
Figura 17 – Estimativa da curva de temperatura em Segunda Ordem	20
Figura 18 – Estimativa da curva de temperatura em Terceira Ordem	21
Figura 19 – Tempo de atraso (L)	22
Figura 20 – Tempo de assentamento (T)	22
Figura 21 – Controlador P no Simulink	24
Figura 22 – Gráfico do controlador P	24
Figura 23 – Controlador PI	25
Figura 24 – Gráfico do controlador PI	25
Figura 25 – Termopar na estrutura de vidro	26
Figura 26 – Curva experimental do controlador P	27
Figura 27 – Curva experimental do controlador P com zoom na diferença de temperatura	28
Figura 28 – Curva experimental do controlador PI	29
Figura 29 – Curva experimental do controlador PI com zoom na diferença de temperatura	30
Figura 30 – Malha aberta da curva de temperatura no Simulink	34
Figura 31 – Controlador P no Simulink	34
Figura 32 – Controlador PI no Simulink	35

SUMÁRIO

1	Introdução	5
1.1	Período de estágio	5
1.2	Objetivos	5
1.3	Atividades	6
1.4	Organização do trabalho	6
2	Interface Homem Máquina - IHM	7
2.1	Comunicação direta com o controlador	7
2.2	Programação da IHM	9
3	Kit didático - Secagem de grãos	11
3.1	Objetivos do kit didático	11
3.2	Estrutura do Sistema de Automação e Controle	11
3.2.1	Gerador PWM analógico	13
3.2.2	Driver para aquecimento da resistência	14
3.2.3	Condicionamento do sinal para sensor de temperatura	15
4	Identificação e Sintonia	18
4.1	Identificação	19
4.2	Sintonia	22
4.3	Simulações	23
5	Atividades experimentais para o controle de temperatura	26
6	Considerações finais	31
	Referências	32
	Anexos	33
	ANEXO A – Guia do Experimento	34

1 INTRODUÇÃO

O estágio interno é denominado supervisionado e é feito no âmbito da universidade em que o aluno está se graduando. A UFPB (Universidade Federal da Paraíba) foi o ambiente utilizado para a realização do estágio interno, mais especificamente no LAC (Laboratório de Automação e Controle). Este laboratório faz parte de um conjunto de laboratórios oferecidos para o curso de Engenharia Elétrica da UFPB, como o LEAD (Laboratório de Eletrônica Analógica e Digital), LPS (Laboratório de Processamento de Sinais), LMA (Laboratório de Máquinas e Acionamentos), LMI (Laboratório de Materiais e Instrumentação) e LE (Laboratório de Eletrotécnica). Cada laboratório oferece recursos para dar suporte às disciplinas ofertadas no curso. O LAC serve de apoio para as disciplinas da ênfase de Automação e Controle, como Instrumentação Industrial, Sistemas de Aquisição de Dados e Interface, Sistemas a Eventos Discretos, Teoria de Controle e Controle I, ambas pertencentes às disciplinas obrigatórias da atual grade curricular.

O LAC conta com o suporte de dois técnicos (um pela manhã e outro à tarde), atualmente funciona das 7h às 19h. Está equipado com:

- Três fontes geradoras;
- Dois osciloscópios;
- Painel de sensores;
- Dois CLPs (Controlador Lógico Programável) do modelo TPW-03 da WEG
- Um CLP (Controlador Lógico Programável) do modelo CLIC02 da WEG
- Dois computadores

1.1 Período de estágio

O período do estágio interno foi de 09 de outubro de 2013 até 14 de fevereiro de 2014. O horário de trabalho foi de 14h às 18h.

1.2 Objetivos

O objetivo do estágio interno no LAC foi de aproximar ao máximo das atividades de uma empresa, com as tarefas a serem feitas, os problemas enfrentados, a carga-horária de um ambiente de trabalho e os prazos a cumprir. Foram propostas algumas atividades para

que fossem desenvolvidas no laboratório. Essas atividades tinham como objetivo desenvolver o conhecimento da autora deste relatório na área do estágio e ajudar a implementar mais recursos no LAC. Além disso, a preparação de um guia para experimento na disciplina de Controle I.

1.3 Atividades

A primeira atividade desenvolvida foi a configuração e instalação de um aparelho comumente chamado de IHM (Interface Homem-Máquina), da WEG. Ele será muito útil para as disciplinas que façam o uso dos CLPs, é uma forma de aprendizado aplicado bastante interessante. A foi pensado para ser feito no estágio com objetivo de ser aproveitado pelos próximos alunos do nosso curso. E, com esse aparelho fazer o sistema supervisor do painel de sensores disponível no laboratório. A outra atividade foi a confecção de um kit didático que pudesse ser usado pelos alunos de engenharia elétrica.

O kit é composto por sensor de temperatura, circuito para condicionamento de sinal, gerador PWM analógico, microcontrolado Stellaris ((TEXAS INSTRUMENTS, 2013)) (para gerar o PWM digital e fazer a conversão para leitura de temperatura) e driver para o aquecimento do resistor. O kit também conta com uma estrutura de vidro (pensada e projetada pela autora do trabalho) com um cano de pvc que serve para dar vazão ao ar que chega à câmara principal de secagem e o vento é gerado por um *cooler*.

Para o sistema de aquecimento da estrutura foram colocados resistores de potência dentro do cano, assim, o ar quente chegava à parte em que deveriam estar os grãos. Este kit será de uma grande importância porque poderá ser usados nas disciplinas de Controle I, Instrumentação Industrial, Eletrônica, Eletrônica de Potência, Sistemas de Aquisição de Dados e Interface, Microcontroladores e Microprocessadores.

1.4 Organização do trabalho

O trabalho descrito está dividido em dois capítulos: o Capítulo 1 é descrita a IHM, a sua instalação e configuração; o Capítulo 2 é descrito o sistema de secagem de grãos, com modelagem matemática, identificação, simulação e parte experimental.

2 INTERFACE HOMEM MÁQUINA - IHM

A IHM é o conjunto de comandos do usuário somados com as respostas do computador, constituídos por sinais. Esta interface é de fundamental importância em automação, pois é através dela que o operador pode interagir com a máquina.

Em uma máquina ou processo muitas vezes se faz necessário que o operador intervenha no processo ou sequência de operação da máquina, ou simplesmente que ele observe as informações para poder tomar as atitudes no processo. Uma das opções para esta finalidade é a IHM (Interface Homem Máquina).

A IHM é um hardware industrial composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para navegação ou inserção de dados que se utiliza de um software proprietário para a sua programação. Há várias utilizações para uma IHM, dentre elas:

- Visualização de alarmes gerados por alguma condição anormal do sistema;
- Visualização de dados dos motores da linha;
- Movimentação em modo manual de componentes da máquina;
- Alteração de caminhos nas rotas dos motores na linha;
- entre outras funções.

2.1 Comunicação direta com o controlador

O meio de comunicação direta com o controlador é o mais utilizado, tendo em vista que o nosso maior mercado ainda é o CLP (Controlador Lógico Programável). Essa comunicação depende exclusivamente do protocolo de comunicação e do protocolo elétrico usado pelo CLP. Normalmente, as IHMs têm uma biblioteca de protocolos de comunicação disponível no seu software de programação, e ao fazer o programa da IHM é necessário escolher o protocolo adequado para o CLP.

O modelo da IHM é o PWS 5600T-S (Figura 1), com as seguintes especificações.

- Display: LCD 5,7" / 320x240
- Memória de aplicação: 2MB Flash ROM
- Portas de comunicação: COM1 (RS232/RS485/RS422)



Figura 1 – Comunicação direta do CLP com a IHM

- Alimentação: 24V
- Touch Screen: Vida útil acima de 1 milhão de toques
- Software Editor: ADP6.3.1

Para conectar a IHM ao CLP foi utilizado um cabo serial DB9 (Figura 2).



Figura 2 – Cabo serial para conectar a IHM ao CLP

2.2 Programação da IHM

Para programar a IHM, para que ela fizesse o controle de alguns dispositivos do painel de sensores, foi utilizado o software ADP6. O ADP6 é um programa que é feito para carregar os supervisórios na IHM (WEG, 2010). Primeiramente projeta-se um supervisório, com as figuras que são disponibilizadas no programa. Em seguida, esse programa é colocado na IHM através de um cabo.

No ADP6 foi feito um programa que se comunicava com as entradas e saídas do TPW-03, e essas entradas e saídas acionavam ou liam dados do painel de sensores (Figura 3).

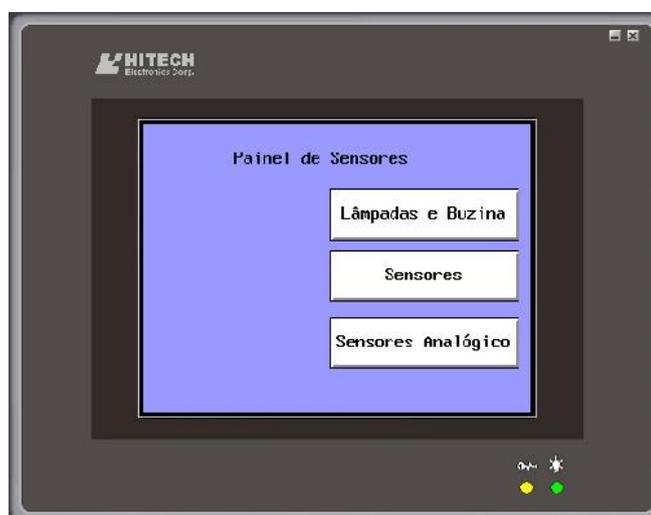


Figura 3 – Tela principal da IHM

Para mostrar o funcionamento da IHM montou-se a primeira tela que acionava as saídas do CLP. A tela era aberta acessando a opção *Lâmpadas e Buzina* na tela principal. Então tínhamos 24V na saída desse CLP que era ligado à lâmpada correspondente no painel de sensores. Foram utilizadas as três lâmpadas de cores diferentes e o que acionava a buzina como pode ser visto na Figura (4). Foi adicionado também uma opção de *Exit* para que o usuário pudesse voltar a tela principal.

A segunda tela foi feita para os sensores digitais do painel. Cada vez que o sensor era acionado alimentava a entrada do CLP com um a tensão de 24V. Ao acionar essa entrada, na IHM era representado se o sensor estava ligado ou desligado (Figura 5). Os três sensores utilizados foram: sensor capacitivo, sensor indutivo e sensor óptico difuso.

A terceira tela foi feita para os sensores analógicos. Foi representado na tela pelo sensor de temperatura. O sensor de temperatura era o NTC (*Negative Thermistor Coefficient*), mas o painel de sensores mostrava a mudança de temperatura, no visor, muito lentamente. Isso porque a resposta do visor do painel de sensores era muito lenta. Por isso não foi possível mostrar na tela exatamente a temperatura real, apenas uma aproximação.

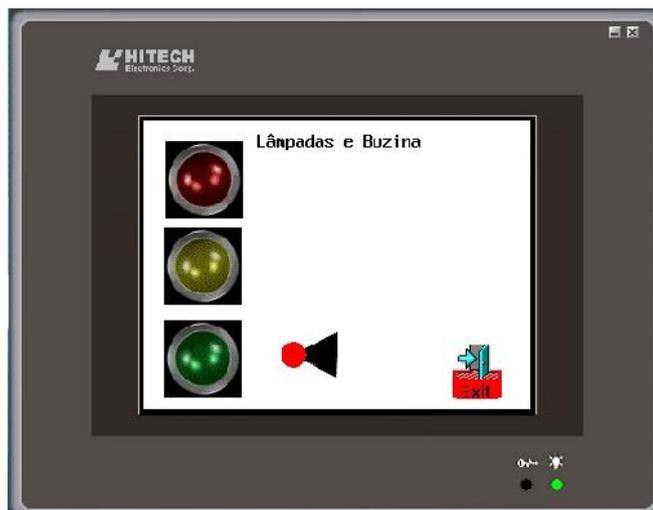


Figura 4 – Tela da IHM com os botões

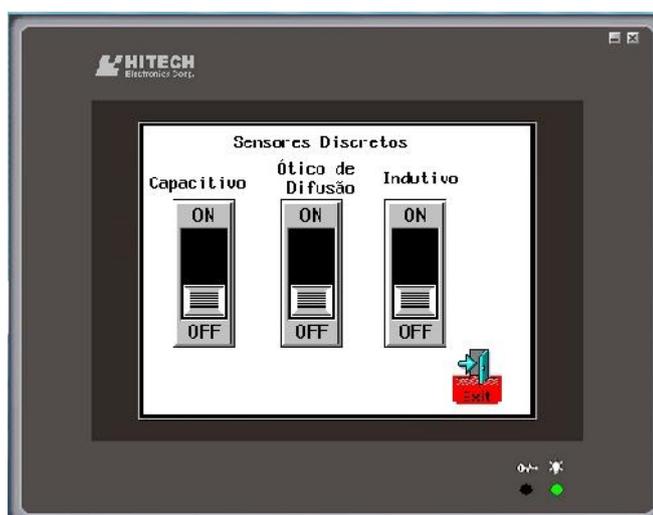


Figura 5 – Tela da IHM com os sensores

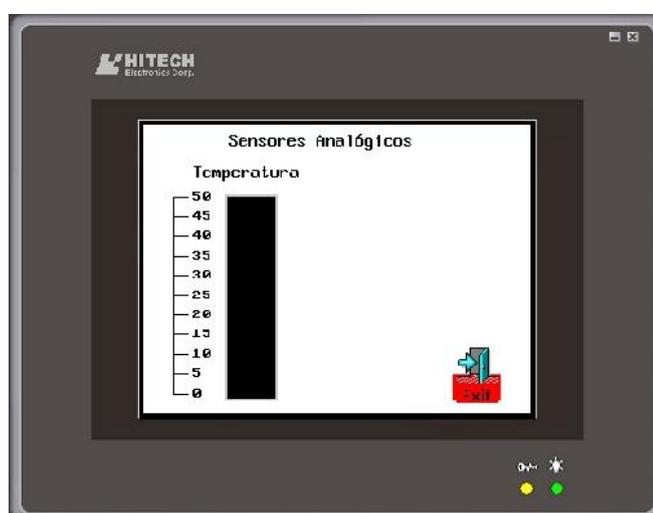


Figura 6 – Tela da IHM com a temperatura

3 KIT DIDÁTICO - SECAGEM DE GRÃOS

3.1 Objetivos do kit didático

O principal objetivo do kit didático é apresentar ao aluno de engenharia elétrica uma forma de aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos nas disciplinas. Este kit facilita o aprendizado no controle de sistemas embarcados, possibilitando também, o controle puro no modelo contínuo, apenas com amplificadores operacionais (como *TL084*). Para que ele possa aplicar a atividade na prática é necessário dispor de uma plataforma de estudos, ou seja, de um ambiente que comumente é constituído de processos a serem controlados, sensores, atuadores, sistemas de controle de interface de comunicação (FILHO, 2005).

Este trabalho propõe uma plataforma para estudos da teoria de controle e de sistemas embarcados. Na configuração proposta, o processo a ser controlado representa um secador de grãos experimental, onde é possível controlar a temperatura do fluxo de ar aquecido que secará os grãos. Sua escolha é um dos aspectos importantes da plataforma em razão do seu funcionamento e da simplicidade de sua montagem física, elétrica e eletrônica.

O aquecimento do fluxo de ar do secador de grãos apresenta um comportamento linear de primeira ordem além de possuir uma dinâmica relativamente lenta. Essas características possibilitam a identificação mais facilitada dos parâmetros do sistema, e através da aquisição de dados pode-se acompanhar visualmente o comportamento dinâmico e em regime permanente do secador de grãos. Além disso, o objetivo é verificar os conceitos de modelagem, através da construção do modelo matemático do sistema de secagem de grãos.(FILHO, 2005)

3.2 Estrutura do Sistema de Automação e Controle

A estrutura de proposta para o mecanismo de aquecimento da resistência, leitura de temperatura, gerador PWM e condicionamento de sinal pode ser vista na Figura (7). Nela, é feito todo o mecanismo para que o aluno possa desenvolver o seu próprio sistema de leitura de temperatura e PWM. O aluno pode fazer o condicionamento de sinal para que ele tenha uma saída de $0V - 3,3V$ (para entrar no microcontrolador) ou para que tenha uma saída de $0V - 10V$ (para entrar no CLP). Para a construção do PWM pode-se montar o circuito com amplificadores operacionais, ou então, gerá-lo com o próprio microcontrolador.

Na Figura (8) pode ser visto o kit didático que é um protótipo da configuração final. Nele, pode-se observar os conectores para alimentação dos circuitos, o circuito para condicionamento de sinal, protoboard para ser montado o circuito que for necessário para

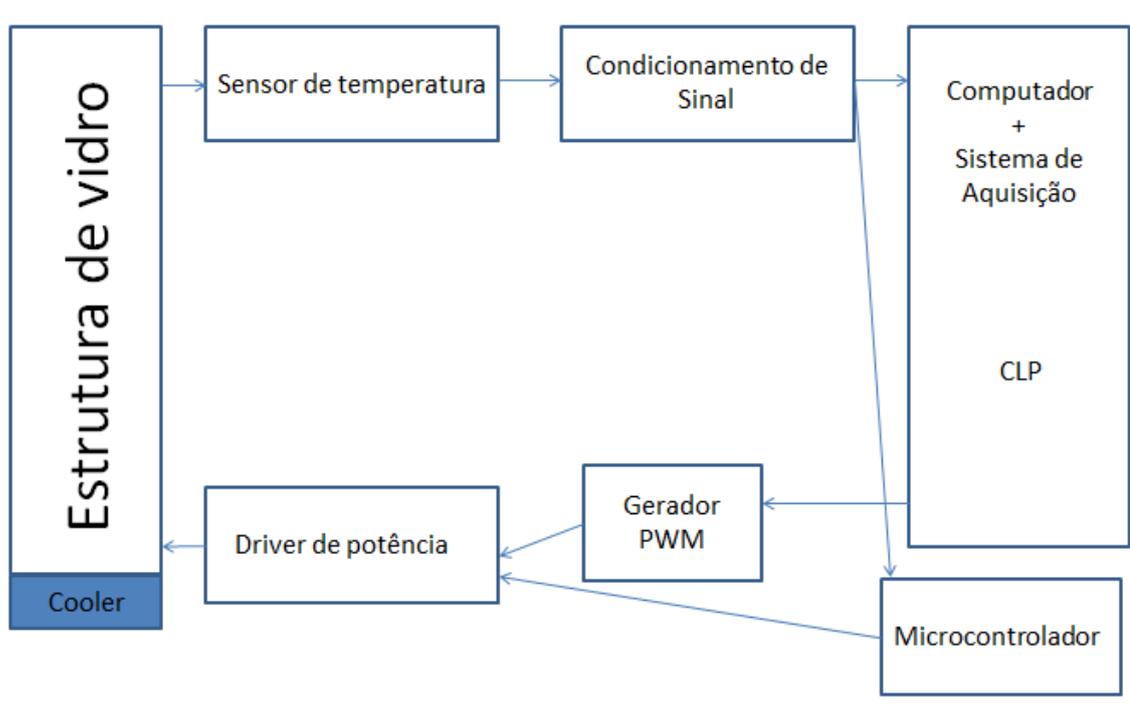


Figura 7 – Diagrama de blocos do kit didático

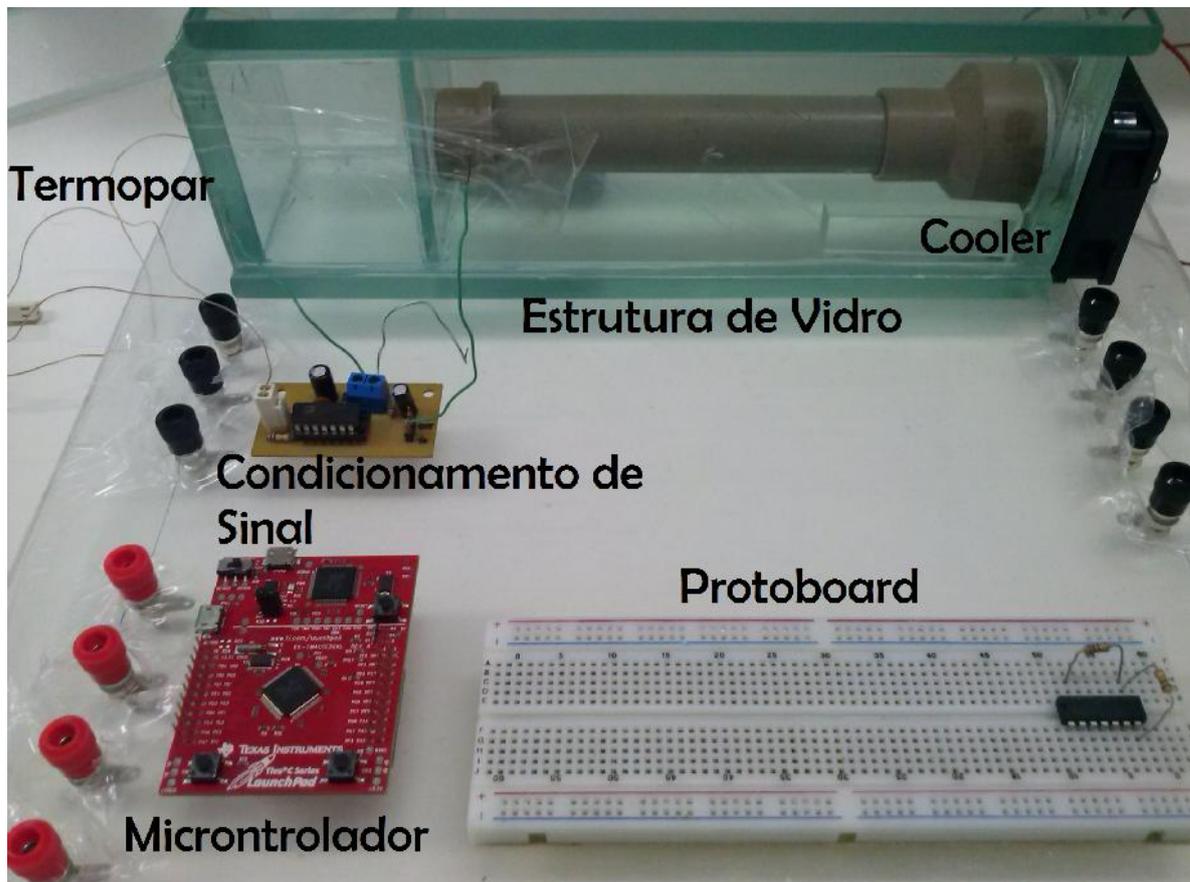


Figura 8 – Estrutura do kit didático montada no laboratório

que o aluno faça seus experimentos, a estrutura de vidro com o resistor de potência dentro do cano para aquecimento do ar e o sensor de temperatura do tipo K.

Os custos do kit didático são:

- Estrutura de vidro - R\$ 70,00
- Chapa de acrílico (31,5x35cm) - R\$ 30,00
- Protoboard de 840 pontos - R\$ 18,00
- Conectores banana 4mm - R\$ 37,70
- Cooler - R\$ 6,00
- CUSTO TOTAL = R\$ 161,70

Trata-se de um protótipo que foi desenvolvido e pensado para que pudesse ser utilizado pelos alunos. Como se trata de um protótipo, ainda falta fixar os elementos propostos na estrutura de acrílico. E os espaços vazios servem para que o aluno desenvolva outras aplicações para esta mesma plataforma.

3.2.1 Gerador PWM analógico

O PWM pode ser gerado pelo próprio microcontrolador. Uma outra opção seria para o aluno montar o PWM analógico (Figura 9). Aplicaria com o gerador de sinais uma onda triangular, e na saída do segundo amplificador operacional, seria produzida uma onda PWM. O circuito pode ser feito com amplificadores operacionais *TL084*. A frequência de operação desse PWM é de $1kHz$.

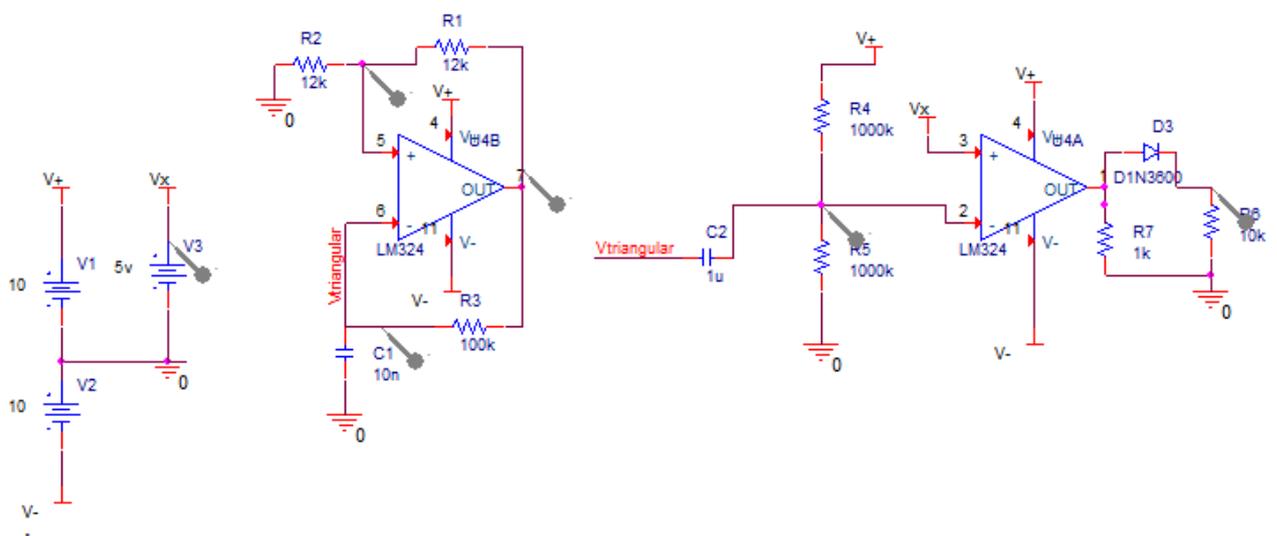


Figura 9 – PWM analógico

3.2.2 Driver para aquecimento da resistência

O driver para aquecimento da resistência (Figura 10) foi feito para o microcontrolador. Nele foi gerada uma onda PWM que varia com uma tensão de $0V - 3,3V$, que entra no optoacoplador que serve de proteção para o circuito e em seguida chaveia o MOSFET *IRF740*. Dependendo do *duty cycle* do PWM, o resistor varia a temperatura. Quando ele está no máximo (100%) acontece o aquecimento e caso contrário, 0%, ele não aquece o resistor.

O circuito feito na placa pode ser visto na Figura (11)

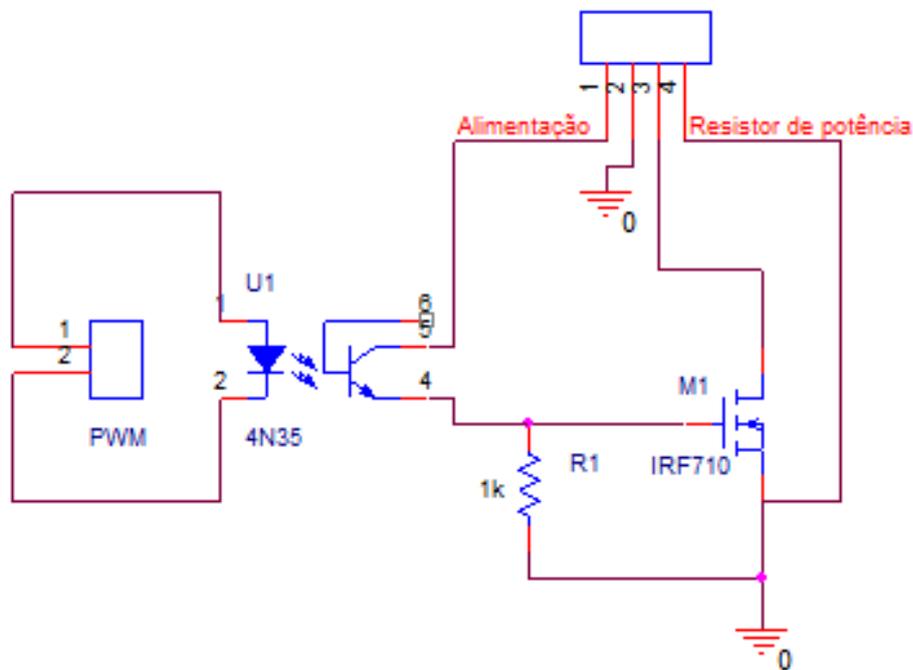


Figura 10 – Driver de potência para o resistor

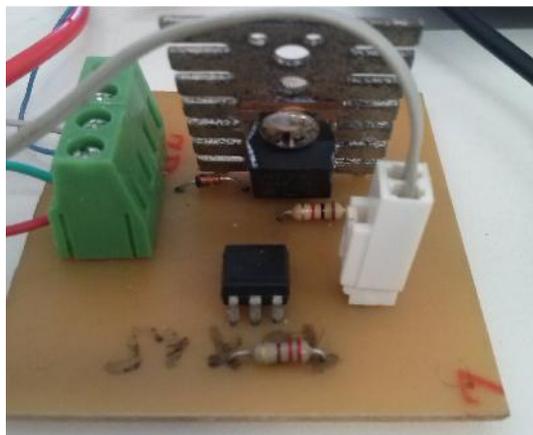


Figura 11 – Driver de potência - Circuito feito na placa

A potência elétrica é fornecida ao sistema térmico por efeito Joule sobre a resistência R . Como o resistor é controlado pelo PWM, portanto é possível controlar a

temperatura pelo *duty cycle* (D) do modulador. Todo o processo acontece da seguinte forma: o microcontrolador produz um PWM em uma das saídas, a tensão varia entre $0V$ e $3,3V$. Com isso quando a tensão $3,3V$ estiver disponível, ter-se-á um *duty cycle* de 100%. Em seguida, coloca-se o PWM na entrada do circuito para o aquecimento do resistor de potência.

Como a relação de tensão com potência é linear, com a tensão no PWM E sendo $10V$. A relação da potência do resistor com o PWM fornecido pelo microcontrolador é:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E^2 dt}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{ta} E^2 dt}$$

$$V_{rms} = E \sqrt{\frac{1}{T} [t]_0^{ta}}$$

$$V_{rms} = E \sqrt{\frac{ta}{T}} \tag{3.1}$$

$$\tag{3.2}$$

Então, dada a sequência que resulta na Equações (3.2), pode-se obter a potência fornecida ao resistor de potência, pela Equação (3.3):

$$P = \frac{E^2 ta}{R T} = \frac{E^2}{R} D \tag{3.3}$$

O resistor utilizado foi o de 10Ω com uma potência de $10W$. Para obter uma temperatura alta utilizaram-se dois desses resistores de potência. Ao aquecermos o resistor e colocarmos o *cooler* com uma tensão de $4V$ para injetar esse ar quente no sistema, podemos verificar o aumento da temperatura na câmara principal.

3.2.3 Condicionamento do sinal para sensor de temperatura

A medição de temperatura é feita pelo termopar tipo K que é constituído de três metais distintos, níquel, cromo e alumínio, como pode ser visto na Figura (12). Como o termopar tipo K tem uma sensibilidade de aproximadamente $41\mu V/^\circ C$, é necessário um circuito amplificador. Isso se faz necessário pois a tensão de saída desse sensor é muito pequena, por isso que precisa fazer o condicionamento do sinal de saída. Neste caso foi utilizado o AD595 que é um amplificador de instrumentação completo com junção de compensação fria para termopar em um único fio monolítico. Combina uma referência de ponto de gelo com um amplificador pré-calibrado para produzir um alto nível ($10mV/^\circ C$)

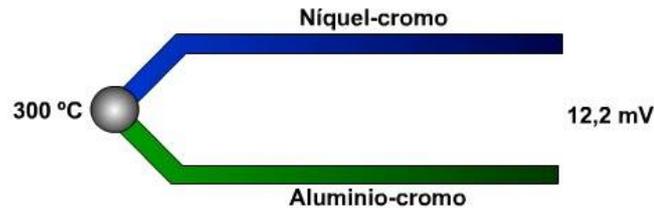


Figura 12 – Estrutura do termopar

de saída diretamente de um sinal de termopar (Figura 13).

Após esse primeiro condicionamento, que oferece um nível de tensão de $250mV - 750mV$ para uma faixa de temperatura de $25^{\circ}C - 75^{\circ}C$, é necessário fazer o condicionamento de sinal para entrada no microcontrolador, que pode receber uma tensão máxima de $3,3V$, e para o CLP que tem um limite máximo de $10V$.

Para fazer esse condicionamento, a saída do AD595 foi conectada um circuito que amplifica o sinal de entrada. O sinal adquirido entra no *buffer* para garantir a alta impedância de entrada e depois no circuito para amplificação propriamente dita. Foram utilizados quatro amplificadores operacionais do circuito integrado TL084. Cada circuito foi projeto de acordo com as especificações do CLP e do microcontrolador. A saída de cada sensor pode ser chaveado, a escolher de acordo com a necessidade do experimento. Se for necessário colocar a saída do sensor no microcontrolador, a saída é de $0V - 3,3V$. E, se for necessário colocar a saída do sensor no CLP, a saída é de $0 - 10V$.

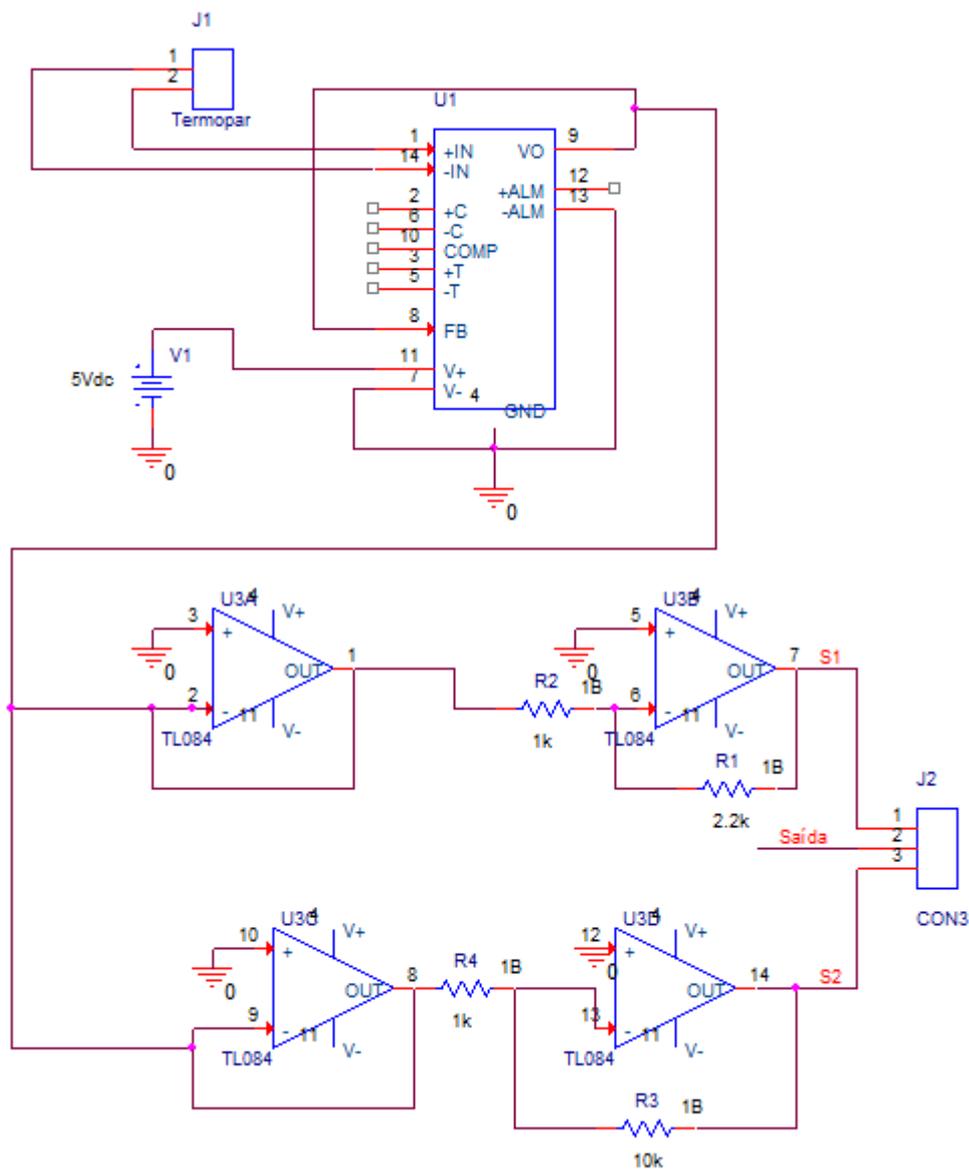


Figura 13 – Condicionamento do sinal para o microcontrolador

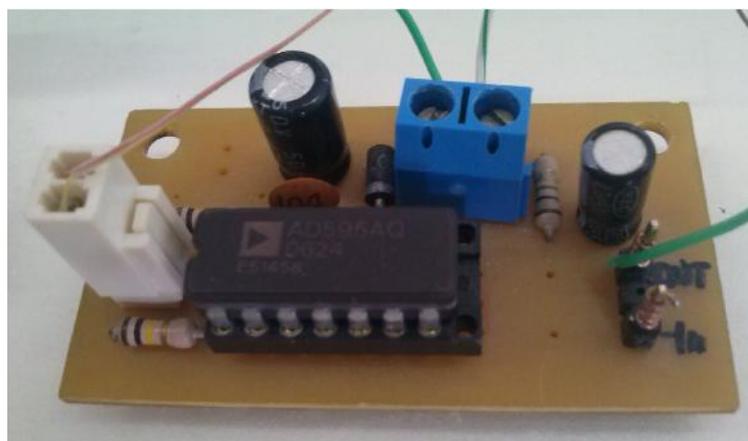


Figura 14 – Condicionamento do sinal para o microcontrolador

4 IDENTIFICAÇÃO E SINTONIA

Quando se tem a resposta da planta em malha aberta, é possível aplicar várias técnicas visando à determinação dos parâmetros dos controladores que atendam às especificações de regimes transitório e estacionário do sistema a malha fechada. Esse procedimento de seleção dos parâmetros do controlador de modo a serem atendidas as especificações é conhecido como sintonia do controlador. Ziegler e Nichols, em 1942, propuseram uma forma de atender às especificações de desempenho que é conhecido hoje como sintonia do controlador. Este é apenas um dos métodos, existem outros métodos para sintonia de controladores.

Ziegler e Nichols propuseram regras para se determinarem os valores do ganho proporcional, K_p , do tempo integral T_i e do tempo derivativo T_d , com base nas características do transitório do processo a controlar. O método aplicado no trabalho consiste em obter experimentalmente a resposta do processo a controlar a uma excitação em degrau unitário. Quando o processo a controlar não envolver integradores nem pólos dominantes complexos-conjugados, a curva de resposta ao degrau unitário pode se assemelhar a uma curva em forma de S (OGATA, 2000).

A curva em forma de S obtida em malha aberta pode ser caracterizado por duas constantes, o tempo de assentamento T e o tempo de atraso L . Essas constantes podem ser determinadas traçando-se uma reta tangente à curva em forma de S no ponto de inflexão e determinando-se as interseções com o eixo dos tempos e com a reta $c(t) = K$. Nela é representado um exemplo de curva em S com tempo de atraso e constante de tempo. A função de transferência $C(s)/U(s)$ pode ser aproximada à de um sistema de primeira ordem com retardo de transporte, como a seguir (OGATA, 2000):

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (4.1)$$

Ziegler e Nichols sugerem ajustar, a partir da malha aberta da planta de um sistema, os valores de K_p , T_i e T_d como pode ser visto na Tabela 4.

Tipo do Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

4.1 Identificação

Para fazer a estimativa da planta da curva de temperatura foi utilizada a ferramenta do MATLAB, o *ident*. É necessário fazer essa estimativa pois, como se trata de um experimento em que não se sabe a planta, é preciso estimá-lo através da curva obtida em malha aberta (Figura 15). Nessa ferramenta, foram estimadas as curvas para a planta do sensor de temperatura.

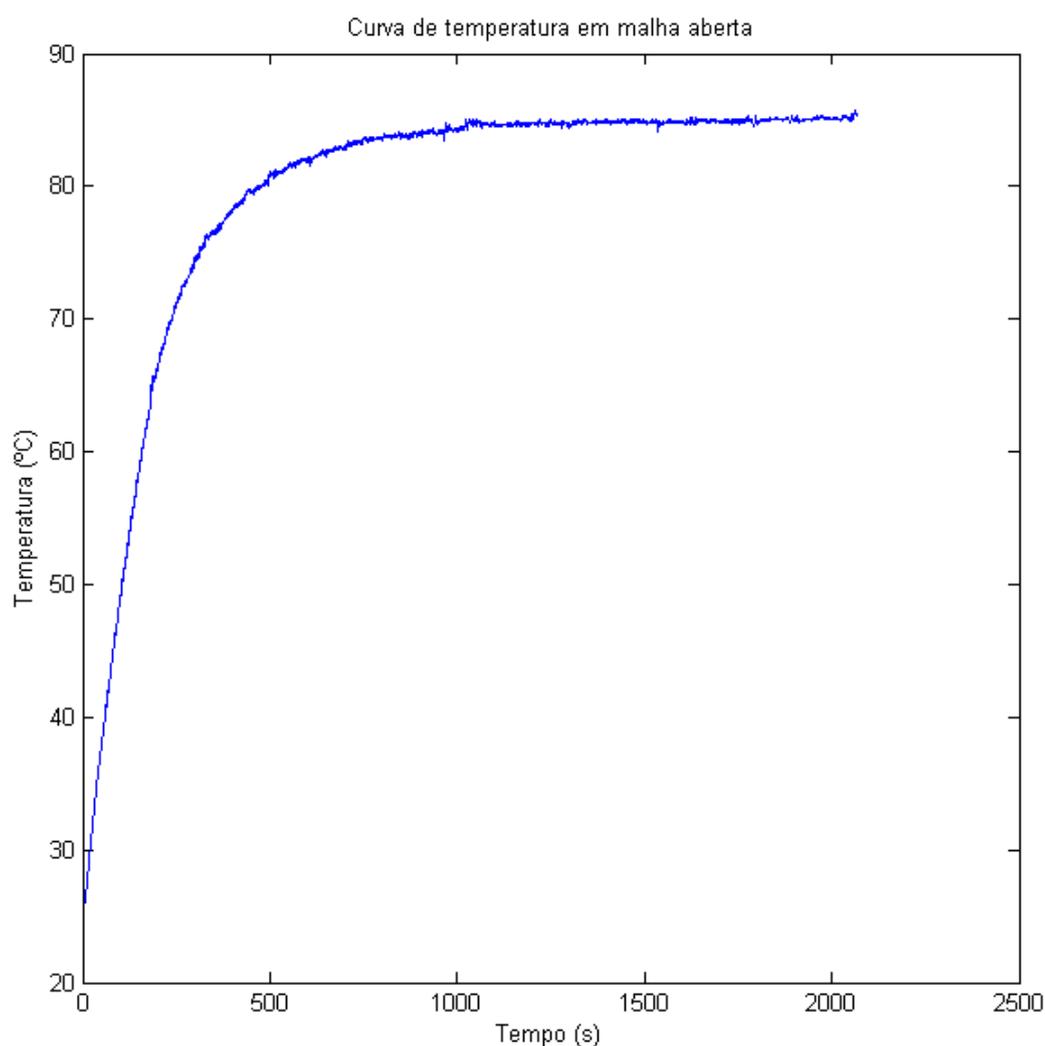


Figura 15 – Curva de temperatura em malha aberta

Com isso pode-se estimar os valores para implementar a planta do sistema de temperatura. Na Figura (16) pode-se ver a estimativa para a planta de primeira ordem. A função de transferência é dada pela Equação (4.3):

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + T_{p1}s} * \exp(-T_d s) \quad (4.2)$$

$$K_p = 84,707$$

$$T_{p1} = 134,76$$

$$T_d = 5,6926$$

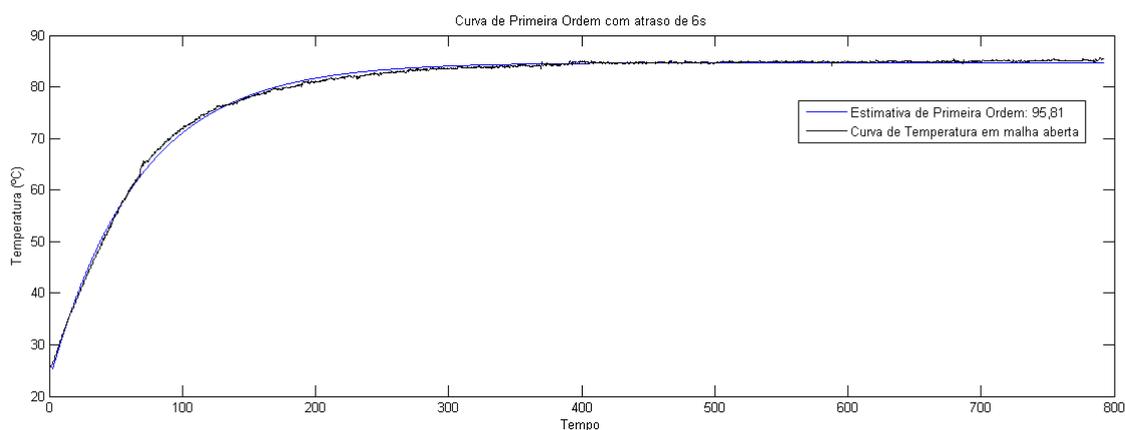


Figura 16 – Estimativa da curva de temperatura em Primeira Ordem

As demais plantas, de segunda ordem (Figura 17) e de terceira ordem (Figura 18). Foi utilizada a curva de primeira ordem, pois achou-se suficiente para o experimento.

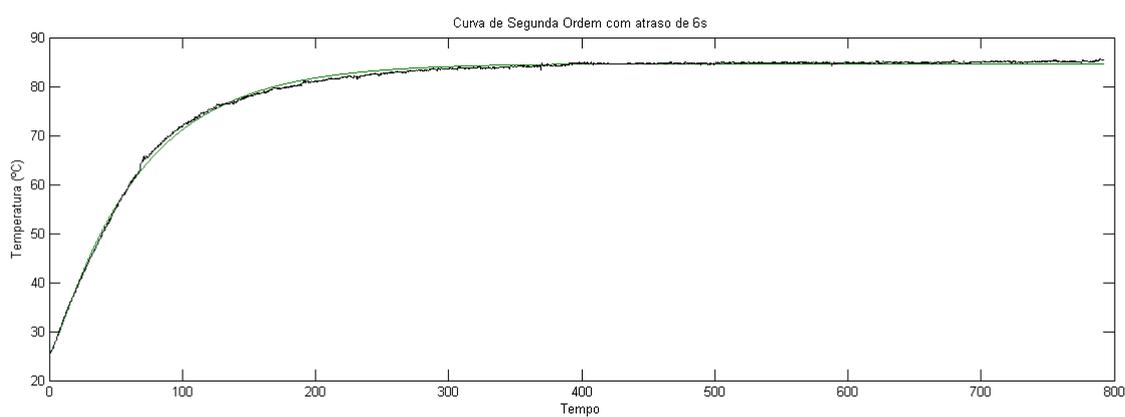


Figura 17 – Estimativa da curva de temperatura em Segunda Ordem

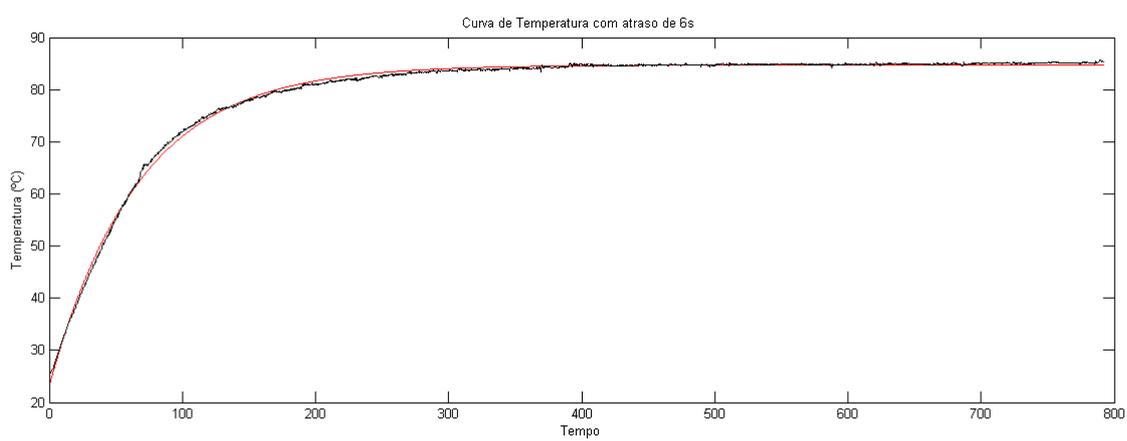


Figura 18 – Estimativa da curva de temperatura em Terceira Ordem

4.2 Sintonia

Com a curva característica da Figura (20) é possível calcular os valores de K_p , T_i e T_d para os controladores P, PI e PID. Para este trabalho os parâmetros foram calculados a partir dos valores de $T = 200s$ e $L = 5,174s$, obtidos na curva característica da Figura (20).

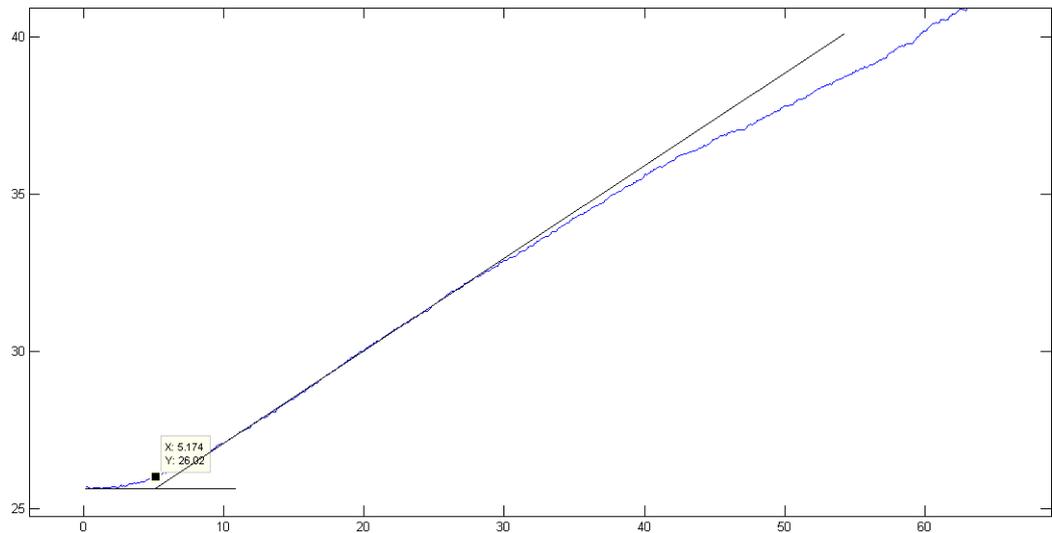


Figura 19 – Tempo de atraso (L)

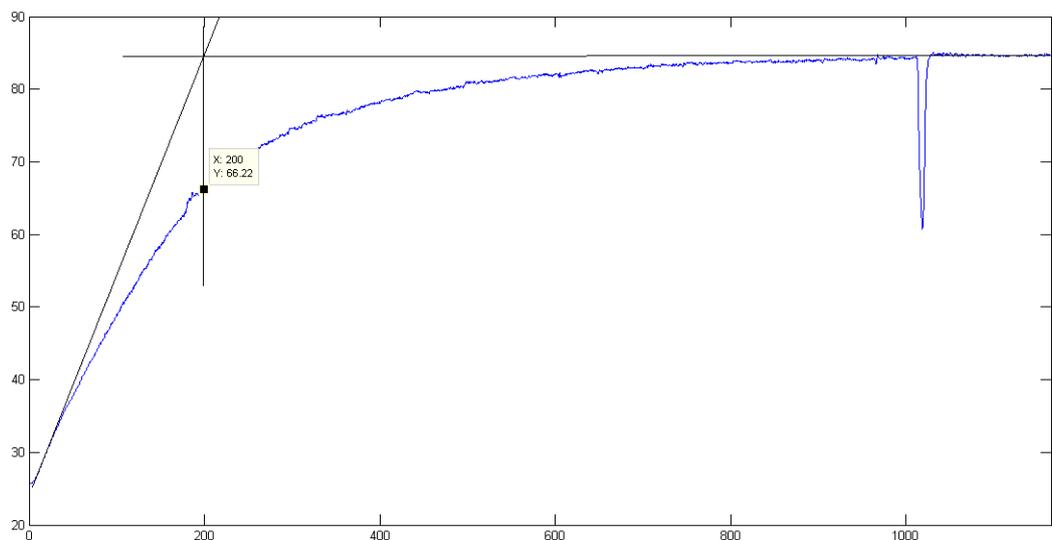


Figura 20 – Tempo de assentamento (T)

Como foram feitos os controladores P e PI, os parâmetros K_p e T_i e são dados pelos seguintes valores:

Para o controlador P:

$$K_p = \frac{T}{L} = \frac{200}{5,174} = 38,6548 \quad (4.3)$$

Para o controlador PI:

$$K_p = 0,9 \frac{T}{L} = 0,9 \frac{200}{5,174} = 34,7893 \quad (4.4)$$

$$T_i = \frac{L}{0,3} = 17,2467 \quad (4.5)$$

O sistema do controlador teve que ser discretizado para a implementação sob a forma de equações de diferenças para os controladores P e PI na rotina de controle gravada no microcontrolador. Para o sistema descrito neste trabalho, foi utilizada a aproximação de Tustin e um tempo de amostragem de $100ms$.

Para o controlador P:

$$u(n) = 34,6432.e(n) \quad (4.6)$$

Para o controlador PI:

$$\begin{aligned} u(n) &= u(n-1) + \left(\frac{K_p T_s + K_p 2T_i}{2T_i} \right) e(z) + \left(\frac{K_p T_s - K_p 2T_i}{2T_i} \right) e(n-1) \\ u(n) &= u(n-1) + 31,44.e(n) - 31,42e(n-1) \end{aligned} \quad (4.7)$$

4.3 Simulações

A primeira simulação (Figura 21) é a do controlador P, e a resposta é dada pela Figura (22). Pode-se observar, pelo gráfico, que o controlador P não chega à referência.

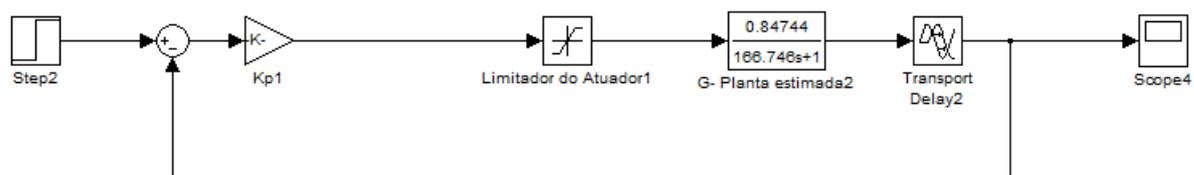


Figura 21 – Controlador P no Simulink

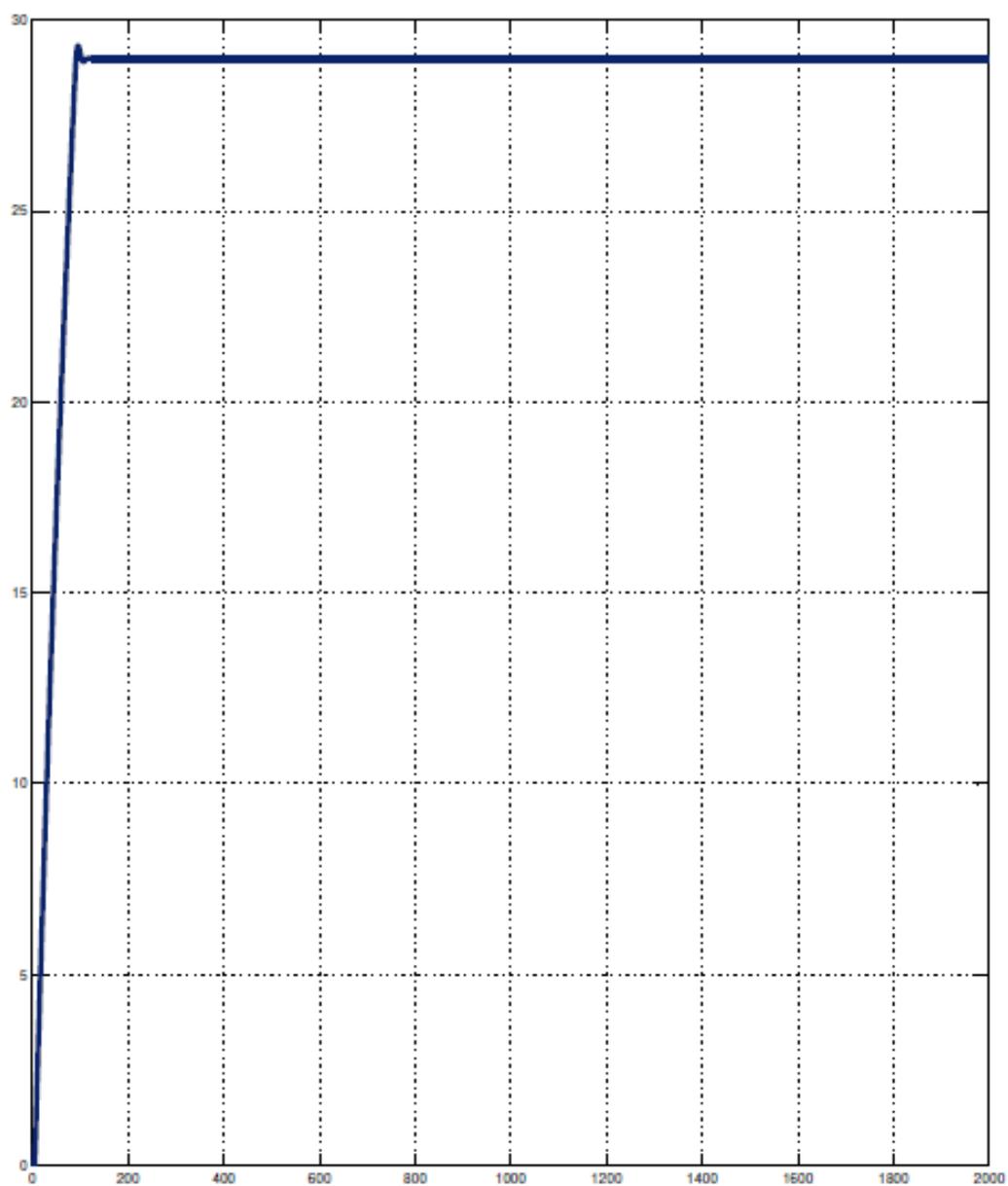


Figura 22 – Gráfico do controlador P

A segunda simulação (Figura 23) é a do controlador PI, e a resposta é dada pela Figura (24). Pode-se observar, pelo gráfico, que o controlador PI passa um pouco da referência, mas que rapidamente volta aos 30°C.

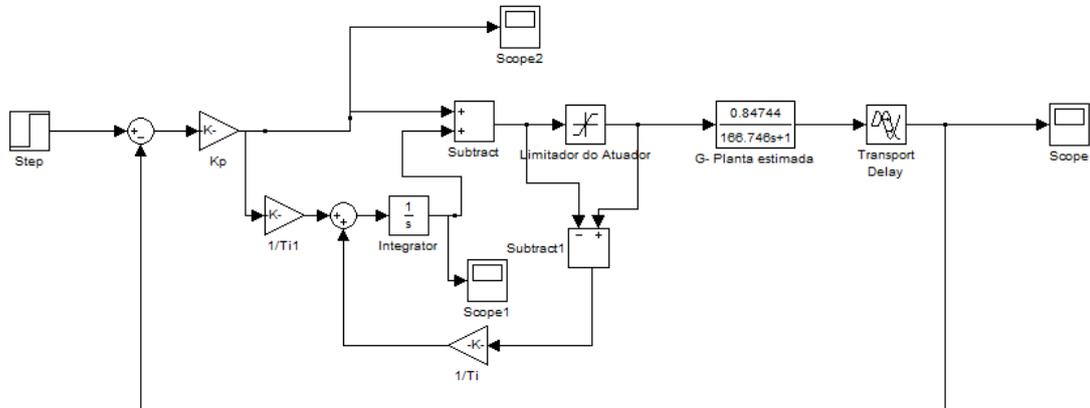


Figura 23 – Controlador PI

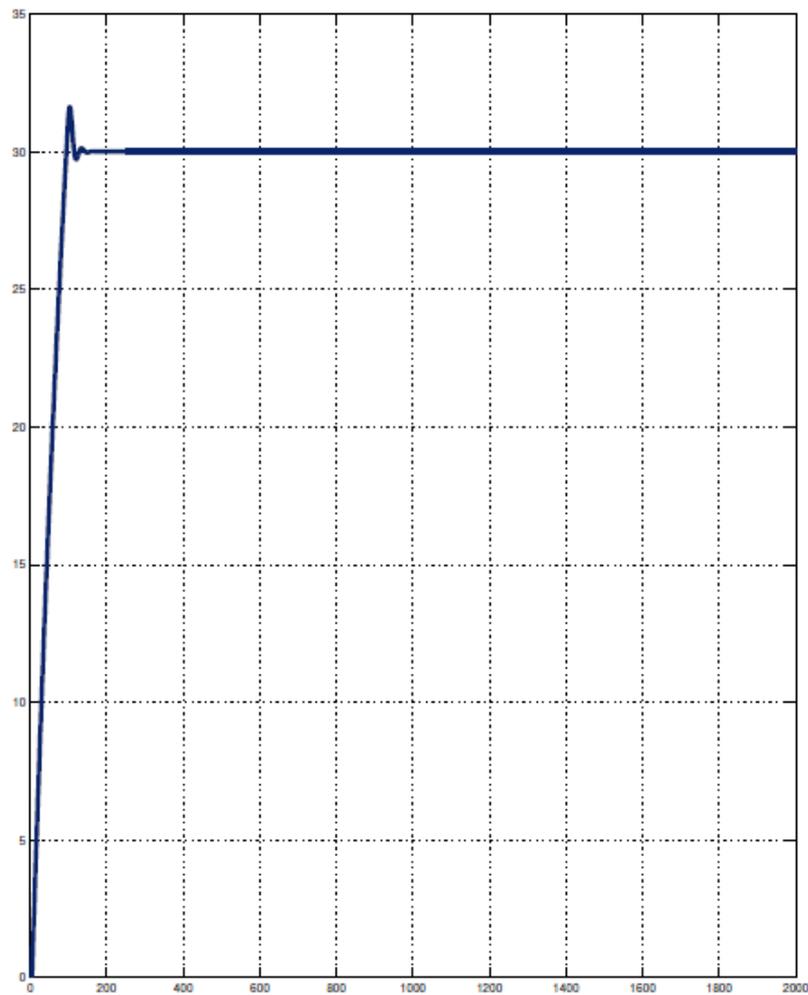


Figura 24 – Gráfico do controlador PI

5 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PARA O CONTROLE DE TEMPERATURA

Para demonstrar como funcionam os controladores, o problema proposto é o controle de temperatura do fluxo de ar quente do secador de grãos. A modificação do valor de temperatura é dada com a variação do PWM que é gerado pelo microcontrolador. A temperatura do fluxo de ar quente é informada ao controlador através do sensor termopar K, localizado imediatamente após o duto de ar (Figura 25).

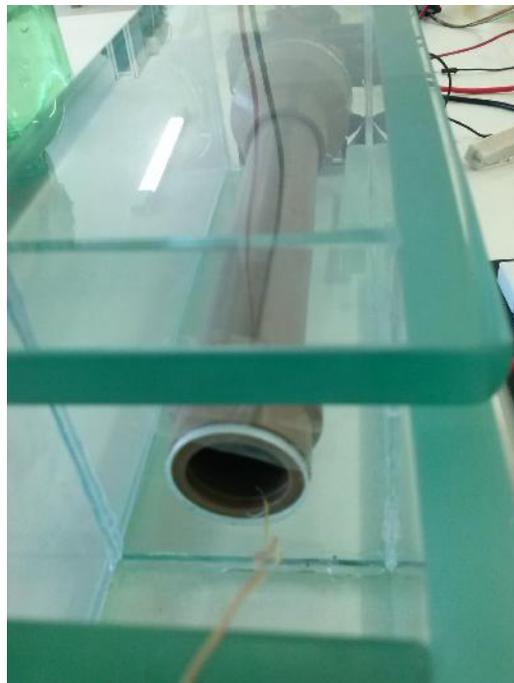


Figura 25 – Termopar na estrutura de vidro

Para a realização deste experimento, o LAC estava com o ar-condicionado a uma temperatura de $16^{\circ}C$. E a temperatura ambiente estava em torno de $25,5^{\circ}C$. O *cooler* foi ajustado para uma tensão de $6V$, para que ele não retirasse a temperatura tão rapidamente do resistor, mas que também não retirasse lentamente. O sensor de temperatura estava localizado no interior do cano, mas sem encostar. Ele ficava preso pra que não variasse a curva a cada medição.

Para o controlador P (Figura 26) pode-se observar que a curva consegue acompanhar a referência. A diferença da temperatura no controle P pode ser vista na Figura (27).

Para o controlador PI (Figura 28) pode-se observar que a curva consegue acompanhar a referência. A diferença no controle PI e pode ser vista na Figura (29).

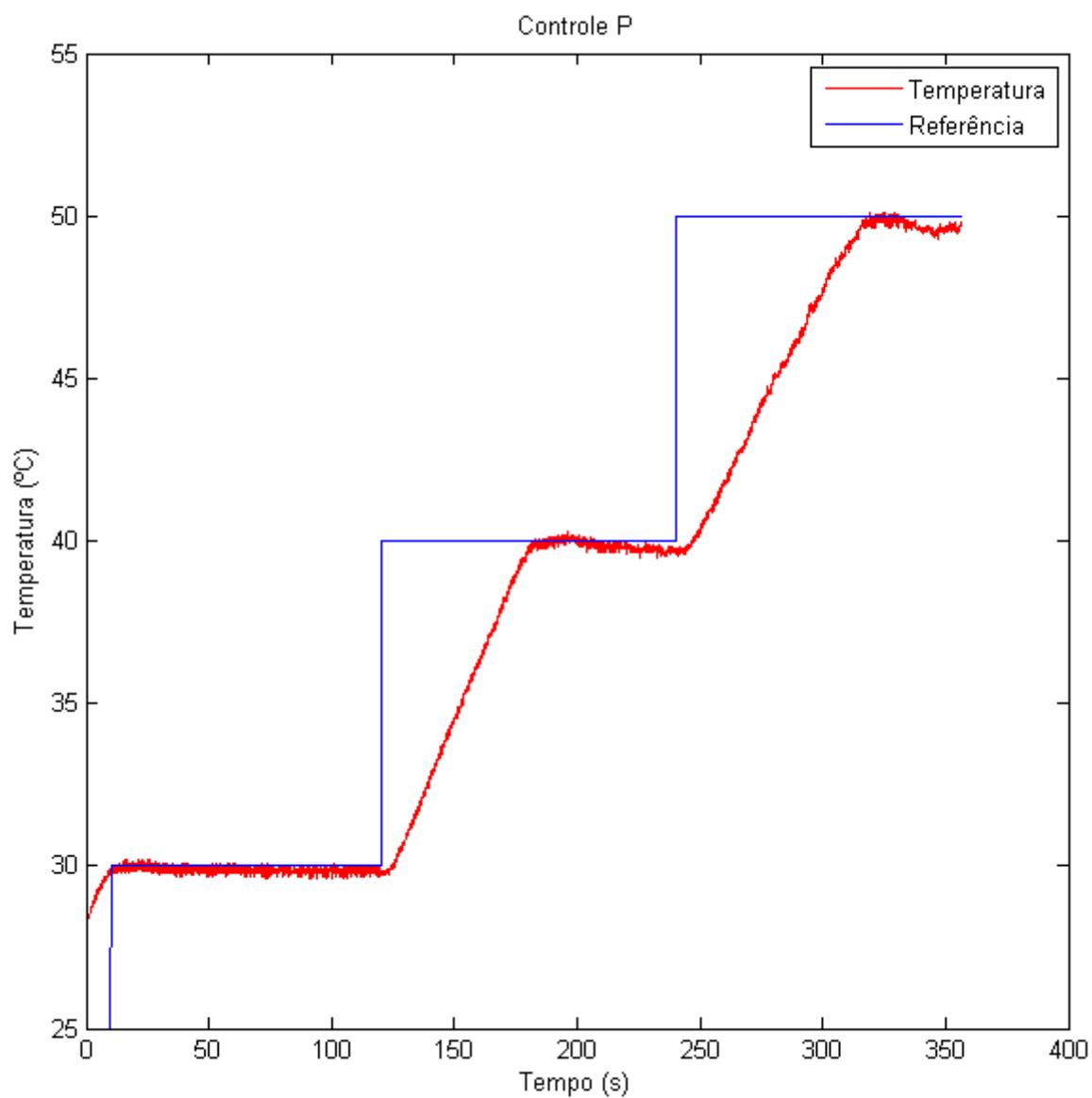


Figura 26 – Curva experimental do controlador P

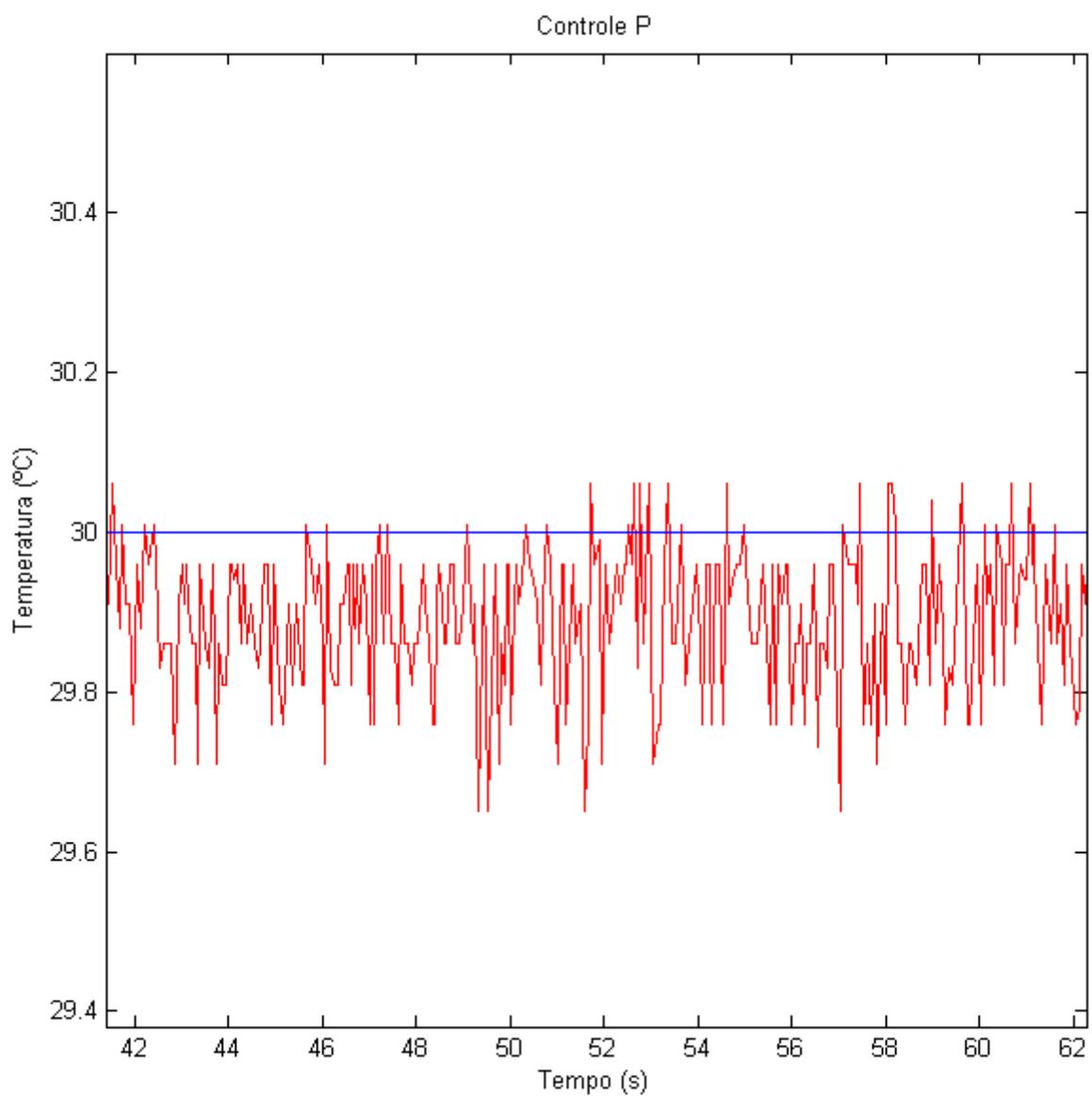


Figura 27 – Curva experimental do controlador P com zoom na diferença de temperatura

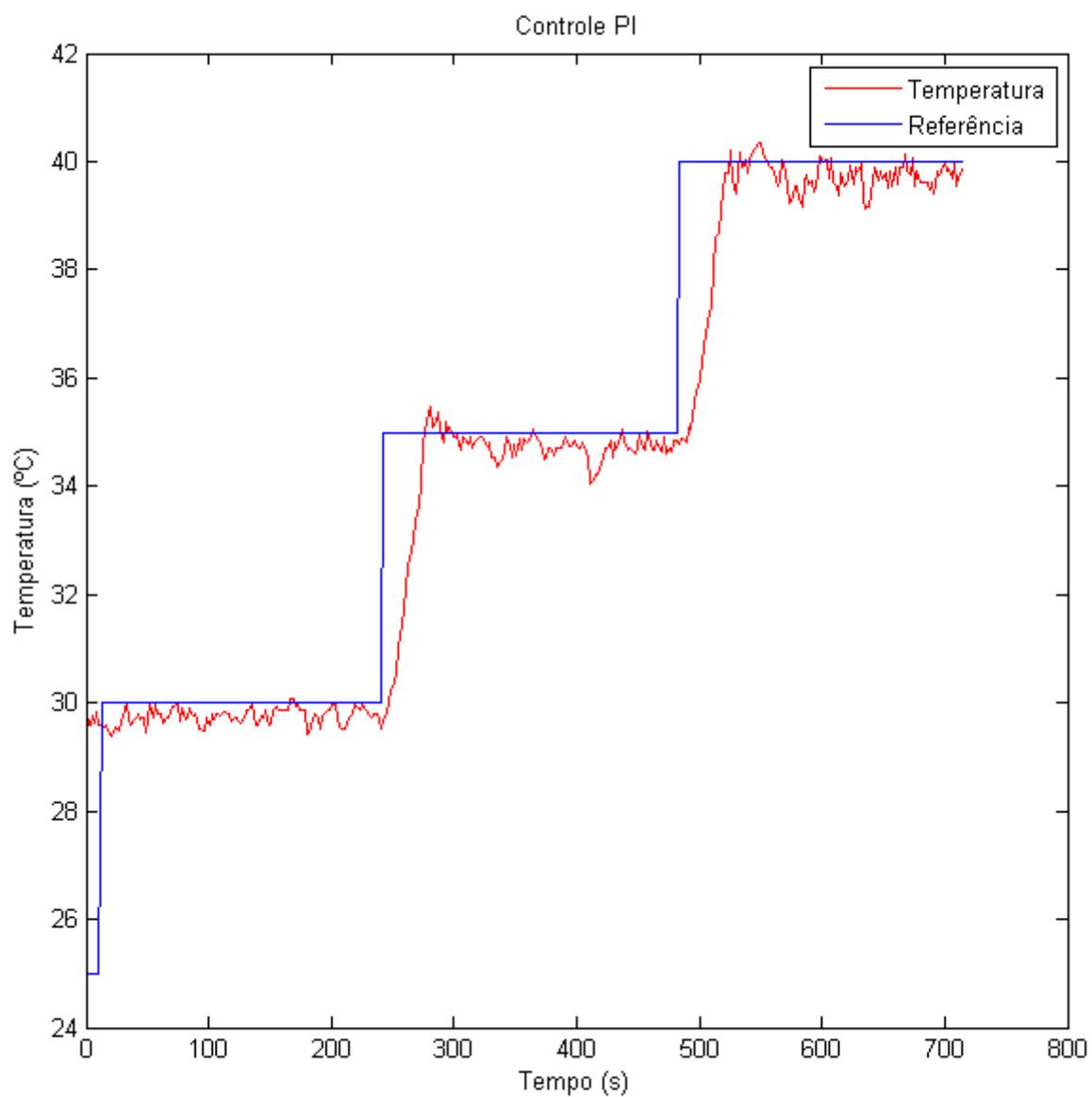


Figura 28 – Curva experimental do controlador PI

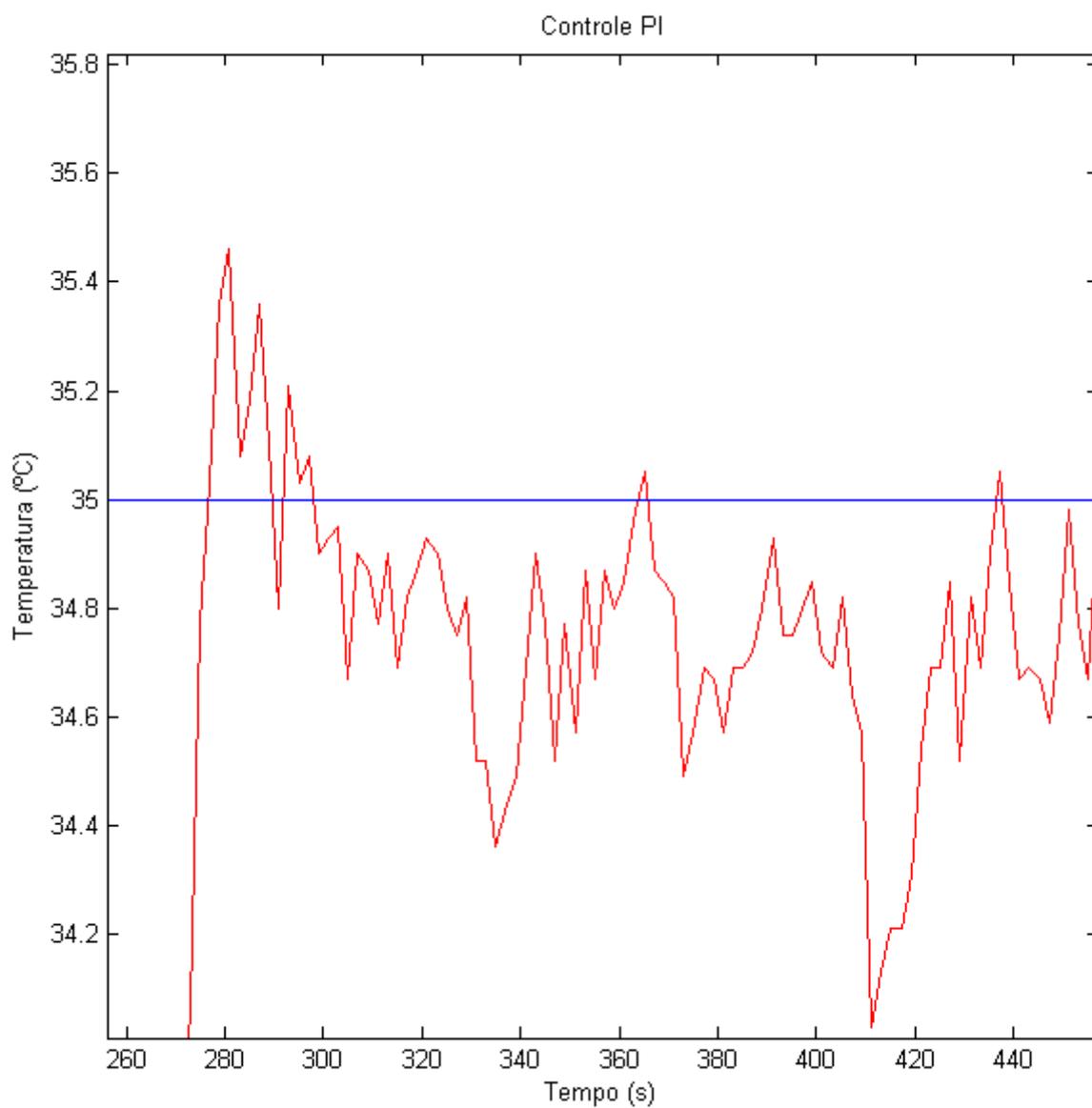


Figura 29 – Curva experimental do controlador PI com zoom na diferença de temperatura

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho de estágio foi possível analisar como se aplicam os conhecimentos adquiridos na graduação em Engenharia Elétrica na prática. Foi possível implementar um dispositivo, a IHM, que será útil para os próximos experimentos; projetar, construir e implementar um kit didático que ficará sendo usado pelos alunos das próximas disciplinas.

Além do conhecimento próprio, este trabalho deixou um resultado que irá auxiliar outros alunos também. Este kit didático pode ser usado nas disciplinas de Instrumentação eletrônica, para fazer o PWM analógico; em Microcontroladores e Microprocessadores, para aprender a utilizar o microcontrolador; em Eletrônica para o condicionamento do sinal, dentre várias outras aplicações. A IHM instalada e pronta pra ser utilizada, pode ser usada na disciplina de Instrumentação industrial, pode-se sugerir que o aluno da disciplina faça um supervisor para o painel de sensores do laboratório.

Foram meses de aprendizado não só na área de Automação, foi necessário aplicar o que foi visto nas disciplinas oferecidas pelo curso de Engenharia Elétrica para conseguir desenvolver os projetos. Esses conhecimentos adquiridos no estágio interno foram muito importantes para a conclusão da graduação, é assim que o aluno começa a ver na prática o que ele irá fazer ao término da sua graduação.

REFERÊNCIAS

FILHO, C. A. de S. Kit de desenvolvimento para microcontroladores aduc aplicado ao ensino de controle e automação. *XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 2005. Citado na página 11.

OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. Terceira. [S.l.: s.n.], 2000. Citado na página 18.

TEXAS INSTRUMENTS. *Stellaris LM4F120 Launchpad Evaluation Board*. [S.l.], 2013. Citado na página 6.

WEG. *Software de Programação ADP 6 - Linha PWS*. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-tutorial-software-adp6-1.0-manual-english.pdf>>. Citado na página 9.

Anexos

ANEXO A – GUIA DO EXPERIMENTO

Prática 1 - Faça a simulação da planta em malha aberta no simulink (Figura 30). Considere um degrau de 0 – 100 e o Transport delay = 4.1617. Faça a simulação com 2000s. Faça uma breve discussão sobre a curva obtida, diga se é possível obter os valores para fazer a sintonia dos controladores e o porquê da sua resposta.

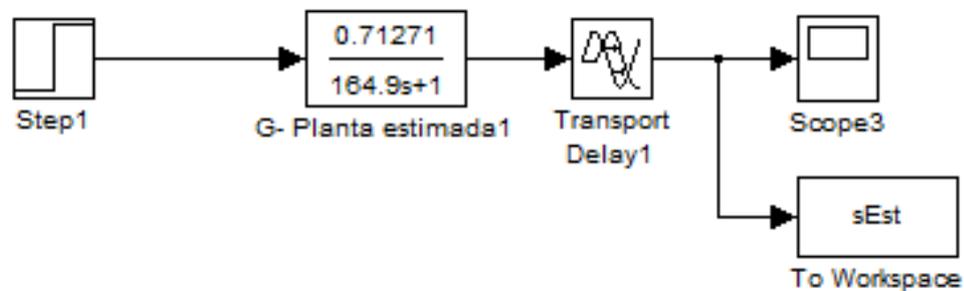


Figura 30 – Malha aberta da curva de temperatura no Simulink

Prática 2 - Faça a simulação do controlador P de acordo com os dados obtidos em malha aberta no Simulink (Figura 31). Calcule o valor de K_p de acordo com a regra de sintonia de Ziegler e Nichols, e obtenha a resposta do controlador para a temperatura de referência de 30°C. Considere um degrau de 0 – 100, Transport delay = 4.1617 e o Limite do atuador de 0 – 100. Faça a simulação com 2000s. Faça uma breve discussão sobre a curva obtida, explique o porquê do comportamento da curva obtida.

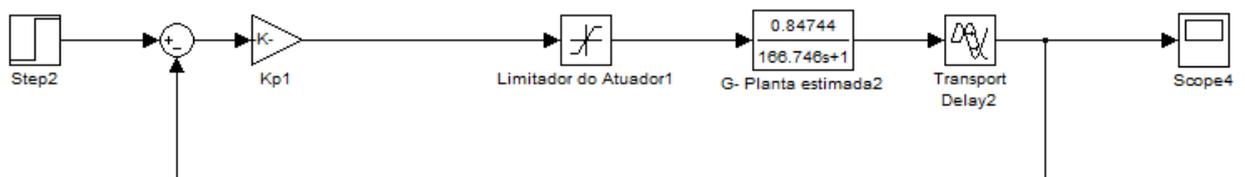


Figura 31 – Controlador P no Simulink

Prática 3 - Faça a simulação do controlador PI de acordo com os dados obtidos em malha aberta no Simulink (Figura 32). Calcule o valor de K_p e T_i de acordo com a regra

de sintonia de Ziegler e Nichols, e obtenha a resposta do controlador para a temperatura de referência de 30°C . Considere um degrau de 0 – 100, Transport delay = 4.1617 e o Limite do atuador de 0 – 100. Faça a simulação com 2000s. Faça uma breve discussão sobre a curva obtida, explique o porquê do comportamento da curva obtida.

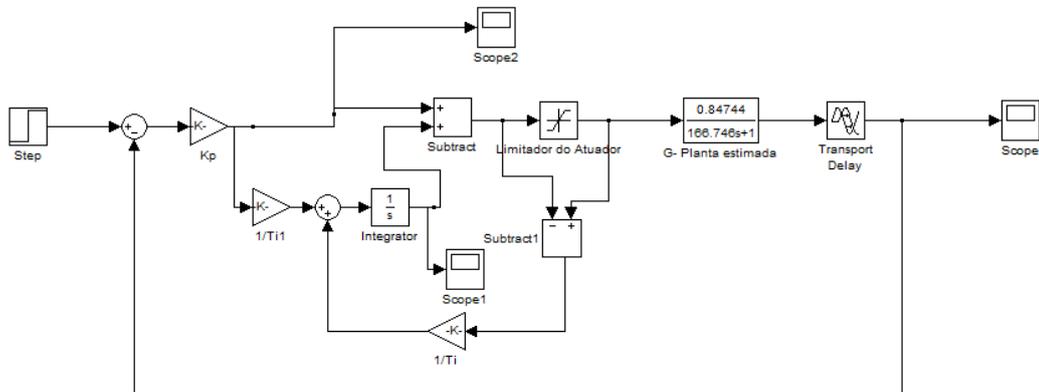


Figura 32 – Controlador PI no Simulink