



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ELI DIAS INOCÊNCIO

Relatório de Estágio Supervisionado

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2012

ELI DIAS INOCÊNCIO

## Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de Estágio Supervisionado submetido  
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Automação Industrial

Orientador:  
Professor Péricles Rezende de Barros, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2012

ELI DIAS INOCÊNCIO

## Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de Estágio Supervisionado submetido  
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Automação Industrial

Aprovado em:        /        /

Professor Avaliador  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

Professor Péricles Rezende de Barros, D. Sc.  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido todos os meios necessários para a conclusão deste curso, uma vez que toda boa dádiva e todo dom perfeito são lá do alto, descendo do Pai das luzes, em quem não pode existir variação ou sombra de mudança.

Agradeço ao meu orientador, Péricles Rezende, pela oportunidade de estágio e por todo subsídio para este trabalho.

Agradeço ao doutorando Henrique Cunha, o qual, em meio a suas inúmeras atividades, teve sempre a paciência e a atenção de dirimir minhas dúvidas quando precisei.

Agradeço aos meus pais por, desde cedo, investirem em minha educação, por me ensinarem a disciplina e o respeito, e por todo o afeto que me acompanha desde o meu nascimento.

Agradeço também a minha futura esposa, Simone, pela compreensão e pelo incentivo nos momentos de desestímulo.

# Sumário

<b>Sumário</b>	<b>iv</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Termos</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 A Plataforma do Soprador Térmico . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	4
1.3 Organização do Texto . . . . .	4
<b>2 Modelagem</b>	<b>5</b>
<b>3 Simulador</b>	<b>7</b>
3.1 Matlab . . . . .	7
3.2 <i>Hardware in the Loop</i> . . . . .	8
<b>4 Sistema Supervisório</b>	<b>11</b>
4.1 CLP . . . . .	11
4.2 Interface do Sistema Supervisório . . . . .	11
<b>5 Conclusão</b>	<b>15</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>16</b>
<b>A Código do Simulador do Soprador Térmico (Matlab)</b>	<b>17</b>
<b>B Código em Ladder para o CLP</b>	<b>20</b>
B.1 Diagrama em Ladder . . . . .	20
B.2 Tags do Controlador . . . . .	25
B.3 Tags do Programa . . . . .	26

# Lista de Figuras

1.1	Representação do soprador térmico. . . . .	2
1.2	Plataforma do Soprador Térmico . . . . .	2
1.3	Relações entre as diferentes partes do sistema. . . . .	3
1.4	CLP utilizado . . . . .	3
1.5	Bancada onde foi montada a Plataforma. . . . .	4
3.1	Resultado do simulador. . . . .	8
3.2	Comunicação cliente-servidor . . . . .	9
3.3	Representação do sistema em malha fechada. . . . .	9
3.4	Comportamento do simulador controlado pelo CLP. . . . .	10
4.1	Tela inicial do sistema supervisório. . . . .	12
4.2	Interface do supervisório para o sistema real. . . . .	13
4.3	Interface do supervisório para o simulador. . . . .	14

# Lista de Tabelas

3.1	Valores dos parâmetros do sistema utilizados na simulação. . . . .	7
-----	--	---

# Lista de Termos

**CLP** Controlador Lógico Programável

**PID** Controlador Proporcional - Integal - Derivativo

**OPC** OLE for Process Control

**IHM** Interface Homem Máquina

**LIEC** Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle

**SP** Set Point

**MV** Manipulated Variable

**PV** Process Variable

**API** Application Programing Interface



# Capítulo 1

## Introdução

O soprador térmico é um sistema de grande utilidade em alguns setores industriais. De modo geral, a sua função é gerar correntes de ar quente em sua saída, onde o ar aquecido pode ser usado para fins diversos, como secagem, aquecimento ou manutenção da temperatura de algum objeto. Assim como outros sistemas, o soprador térmico necessita de um sistema de controle para facilitar a interação com o operador e para aumentar a sua eficiência.

No desenvolvimento de um sistema de controle, nem sempre é disponível ao projetista a realização de ensaios com o sistema real, os quais são necessários para a realização do projeto dos controladores. Uma forma de contornar este obstáculo é o desenvolvimento de simuladores. Uma vez obtido o modelo matemático para o sistema, este pode ser simulado utilizando-se ambientes computacionais, onde é previsto o comportamento do modelo para diversas situações. Desse modo, o ambiente de simulação para o modelo matemático de um sistema é chamado simulador. Nele, uma vez considerado suficientemente fiel ao sistema real, é possível realizar ensaios onde são extraídas informações para o projeto dos controladores, além, é claro, de permitir a verificação do comportamento após alterações ou eventos ocorridos no sistema.

### 1.1 A Plataforma do Soprador Térmico

A plataforma do soprador térmico usada neste trabalho, a qual se encontra no Laboratório de Controle e Otimização do LIEC, é constituída de dois túneis dispostos paralelamente, onde ambos possuem em seu interior uma resistência elétrica, servindo como fonte de calor para o sistema. Estas resistências são ligadas à fontes de tensão alternada, as quais podem ser controladas a fim de ajustar a potência dissipada nas bobinas. Além da resistência, cada túnel possui na extremidade próxima a esta um ventilador, o qual possibilita a existência de um fluxo de ar contínuo, permitindo que o calor seja conduzida para fora do sistema pela outra extremidade, onde é aferida a temperatura. Esses fluxos de ar quente podem ser parcialmente transferidos para o túnel adjacente. Isso se dá através das aberturas existentes na parede divisória, as quais, dependendo do ângulo de abertura das comportas, permitem a passagem de uma quantidade maior ou menor de calor. No sistema utilizado neste trabalho, diferentemente das fontes de tensão alternada, as aberturas só podem ser controladas manualmente. A ilustração do sistema pode ser vista na Figura 1.1. Já a foto da plataforma real pode ser vista na Figura 1.2.

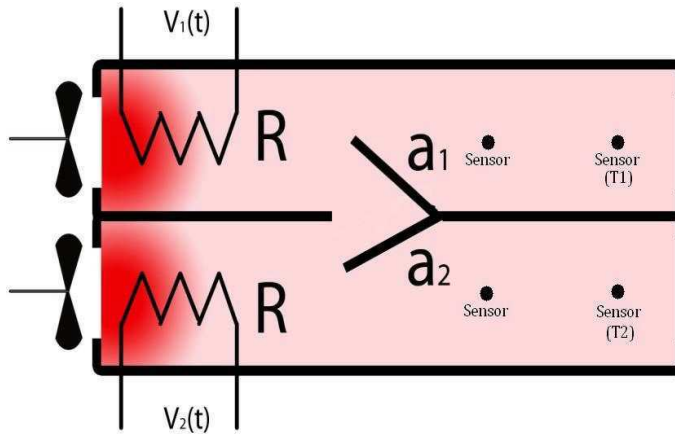


Figura 1.1: Representação do soprador térmico.



Figura 1.2: Plataforma do Soprador Térmico

Na Figura 1.1,  $R$  representa as resistências na entrada de cada túnel,  $V_1$  e  $V_2$  representam as tensões aplicadas às resistências, respectivamente, dos túneis 1 e 2, enquanto  $a_1$  e  $a_2$  representam as aberturas entre eles. Também pode ser percebido que existem sensores de temperatura nas saídas dos túneis. Na plataforma encontrada no laboratório, os sensores utilizados são do tipo LM35, sendo deles as medições de temperatura lidas pelo controlador.

Para a realização do controle, foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP) da *Rockwell Automation*, também disponível no Laboratório de Controle e Otimização. A comunicação deste com o soprador foi feita por meio de suas portas de entrada e saída analógicas. Já a conexão do CLP com o computador, onde foi executado o simulador e o sistema supervisório, foi estabelecida utilizando a rede do laboratório por meio do padrão Ethernet/IP. A representação das ligações entre as diferentes partes do sistema está mostrada na Figura 1.3. O CLP utilizado pode ser visto na Figura 1.4.

Como foi dito, a plataforma e o CLP utilizados neste trabalho se encontram no LIEC

(Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle). Este está localizado no setor C da Universidade Federal de Campina Grande, possuindo diversas áreas de pesquisa, dentre as quais é possível citar: instrumentação eletrônica, controle e automação industrial, redes industriais, interface homem-máquina, etc. No Laboratório de Controle e Otimização do LIEC são desenvolvidas pesquisas, por parte dos corpos docente e discente, voltadas à modelagem e controle de processos, bem como ao desenvolvimento de sistemas supervisórios para os mesmos. A bancada onde foi montada a plataforma do soprador térmico juntamente com o CLP está localizada neste laboratório, e pode ser vista na Figura 1.5.

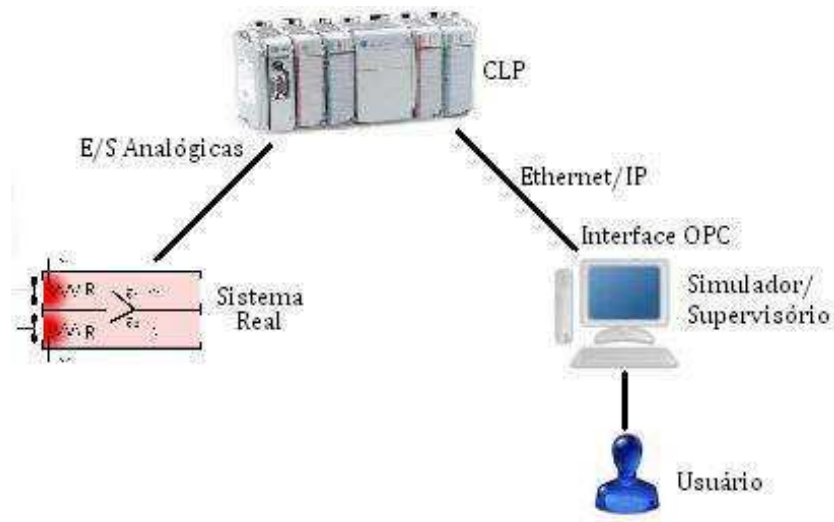


Figura 1.3: Relações entre as diferentes partes do sistema.



Figura 1.4: CLP utilizado

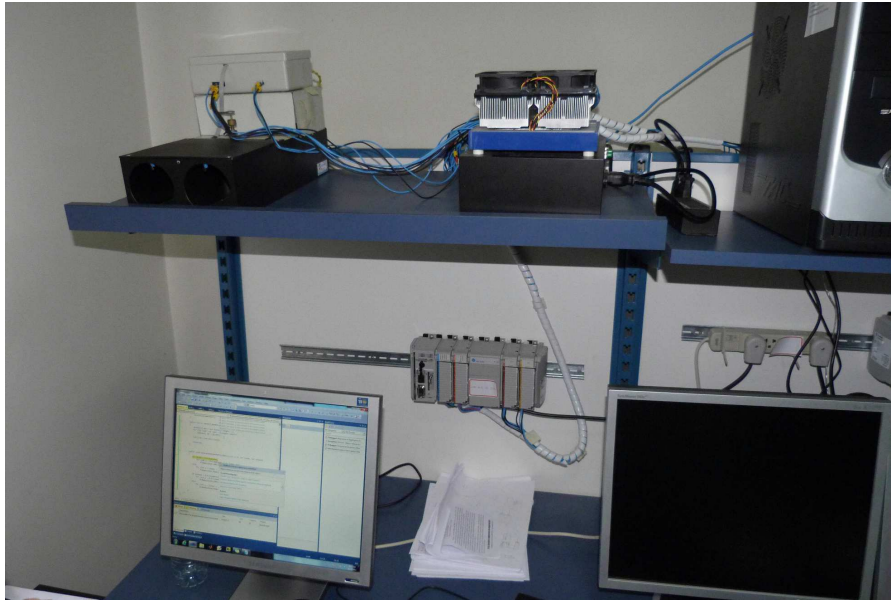


Figura 1.5: Bancada onde foi montada a Plataforma.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho foi resultado do período de estágio realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). A proposta para o mesmo consistiu no desenvolvimento de um simulador, bem como na implantação de melhorias, para a plataforma do soprador térmico desenvolvido pela equipe do laboratório. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

1. Familiarização com a referida plataforma e princípios de operação.
2. Realização de modelagem do sistema e levantamento de requisitos tendo em foco a elaboração de um simulador para o mesmo.
3. Desenvolvimento de um simulador para o sistema em ambiente Matlab.
4. Incorporar o padrão de comunicação OPC ao simulador desenvolvido.
5. Realizar melhorias no programa em Ladder pré-existente para a plataforma.
6. Desenvolver Interface Homem-Máquina para o sistema.

## 1.3 Organização do Texto

O relatório foi organizado da seguinte maneira: a modelagem matemática e obtenção das equações de estado para o soprado térmico estão mostrados no capítulo 2. Os resultados do simulador desenvolvido no Matlab, bem como o uso da técnica Hardware in the Loop estão relatados no capítulo 3. No capítulo 4 está detalhado o sistema supervisor desenvolvido para monitoração e controle da plataforma. Por fim, a conclusão do trabalho realizado encontra-se no capítulo 5.

# Capítulo 2

## Modelagem

Uma vez familiarizado com a plataforma do soprador térmico, foi possível o desenvolvimento de um modelo matemático para o mesmo. Para tanto, algumas considerações foram estabelecidas. Primeiramente, partiu-se do pressuposto de que o sistema se encontra inicialmente em equilíbrio térmico à temperatura ambiente ( $T_0$ ) e que o calor dissipado nas resistências é o único meio de ingresso de energia térmica para o sistema. Em segundo lugar, considerou-se que o ar contido no interior dos túneis é constantemente renovado pela ação dos ventiladores, mantendo uma certa uniformidade na temperatura do mesmo. Além disso, foi considerado que o sistema perde energia térmica somente pelas paredes laterais do sistema, através da condução térmica, e pelo ar quente que sai por sua extremidade. Por fim, considerou-se que uma parcela da energia dissipada em uma das resistências é conduzida para o túnel adjacente através do fluxo de ar que passa pela abertura lateral, sendo que, no ângulo máximo de abertura, esse valor chega a 30%.

Tendo estabelecido os pressupostos, pode-se considerar que a energia térmica que irá aquecer o ar no túnel é resultado da energia dissipada na resistência do mesmo, diminuída da energia conduzida para o túnel adjacente através da abertura lateral, acrescida da parcela de calor proveniente da resistência do segundo túnel. Como o ar é renovado constantemente, uma parte dessa energia é dissipada pela extremidade do túnel e outra parte pelas paredes do sistema. Isso nos permite estabelecer o balanço de energia mostrado na equação 2.1.

$$Q_T = (Q_r - Q_{a1}) + Q_{a2} - Q_p - Q_{ar} \quad (2.1)$$

Em que,  $Q_T$  é a energia responsável pelo aumento da temperatura interna do sistema;

$Q_r$  é a energia térmica ingressante no sistema através da resistência;

$Q_{a1}$  é a energia perdida para o túnel adjacente;

$Q_{a2}$  é a energia absorvida do túnel adjacente;

$Q_p$  é a energia dissipada através das paredes do soprador;

$Q_{ar}$  é a energia térmica que sai dos sistema no ar aquecido;

Uma vez estabelecido o balanço de energia na equação 2.1, é possível representá-lo por meio das taxas de transferências de energia, como pode ser visto na equação 2.2. Vale destacar que os índices de cada termo da expressão possuem o mesmo significado da equação 2.1, sendo que a letra  $h$  representa o fluxo de energia.

$$h_T = (h_r - h_{a1}) + h_{a2} - h_p - h_{ar} \quad (2.2)$$

Desse modo, fazendo uso das equações da termodinâmica, podemos representar a equação 2.2 para o túnel 1 como segue:

$$C \frac{dT_1}{dt} = (1 - \alpha) \cdot \frac{V_1^2}{R} + \beta \cdot \frac{V_2^2}{R} - K \cdot (T_1 - T_0) - [(1 - \alpha) \cdot G_1 \cdot c + \beta \cdot G_2 \cdot c] \cdot (T_1 - T_0) \quad (2.3)$$

em que,  $K$  é o coeficiente de condução térmica das paredes ( $\frac{kcal}{s \cdot ^\circ C}$ );

$C$  é a capacidade térmica do ar ( $kcal / ^\circ C$ );

$c$  é o calor específico do ar ( $\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$ );

$T_1$  é a temperatura no túnel 1 ( $^\circ C$ );

$T_0$  é a temperatura ambiente ( $^\circ C$ );

$G_1$  é a vazão em massa do ar ingressante no túnel 1 ( $kg/s$ );

$G_2$  é a vazão em massa do ar ingressante no túnel 2 ( $kg/s$ );

$\alpha$  é a variável que representa a parcela de energia e de ar transferida do túnel 1 para o túnel 2 através da abertura lateral;

$\beta$  é a variável que representa a parcela de energia e de ar transferida do túnel 2 para o túnel 1 através da abertura lateral;

$R$  é a resistência dos túneis (ohms);

Desse modo, como os túneis podem ser considerados similares, as equações de estado para o sistema são:

$$\dot{T}_1 = \frac{1}{C} \left\{ (1 - \alpha) \cdot \frac{V_1^2}{R} + \beta \cdot \frac{V_2^2}{R} - [(1 - \alpha) \cdot G_1 \cdot c + \beta \cdot G_2 \cdot c + K] \cdot (T_1 - T_0) \right\} \quad (2.4)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{1}{C} \left\{ (1 - \beta) \cdot \frac{V_2^2}{R} + \alpha \cdot \frac{V_1^2}{R} - [(1 - \beta) \cdot G_2 \cdot c + \alpha \cdot G_1 \cdot c + K] \cdot (T_2 - T_0) \right\} \quad (2.5)$$

Uma vez que foi arbitrado que, na abertura máxima da comporta, 30% da energia dissipada na resistência e 30% do ar aquecido é transferido para o túnel adjacente, considera-se que os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  estão contidos no intervalo  $[0;0,3]$ .

# Capítulo 3

## Simulador

### 3.1 Matlab

O simulador para o soprador térmico pode ser de grande utilidade para a verificação do modelo desenvolvido e para a possível sintonia de controladores PID, uma vez que a partir do mesmo é possível se obter as funções de transferência para cada túnel. Para tanto, foi utilizado o *software* Matlab para o desenvolvimento do ambiente de simulação. Vale salientar que os valores para as constantes do sistema, tais como a capacidade térmica ar, o calor específico do ar e o coeficiente de condução térmica das paredes do sistema real foram estabelecidas arbitrariamente e de modo aproximado, uma vez que não houve uma análise minuciosa dos mesmos. A vazão de ar produzida pelos ventiladores e os valores das resistências também não foram documentadas no momento da montagem da plataforma, fazendo-se necessário uma estimativa também para estes valores.

Considerando as duas comportas laterais fechadas e as tensões de 200V e 100V aplicadas, respectivamente nas resistências dos túneis 1 e 2, foi obtido o resultado mostrado na Figura 3.1. Os valores para as constantes do sistema estão mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Valores dos parâmetros do sistema utilizados na simulação.

Parâmetro	Valores	Unidade
$C$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$kcal/^\circ C$
$c$	0,24	$\frac{kcal}{kg} \cdot ^\circ C$
$K$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$\frac{kcal}{s} \cdot ^\circ C$
$R$	100	$\Omega$
$G_1$	$8 \cdot 10^{-3}$	$kg/s$
$G_2$	$8 \cdot 10^{-3}$	$kg/s$
$T_0$	22	$^\circ C$

É importante salientar que no simulador foi utilizada uma constante de proporcionalidade nos termos das equações de estado referentes à potência dissipada nas resistências, uma vez que o valor desta, segundo a expressão  $P = \frac{V^2}{R}$ , é dado em Watts, ou seja,  $J/s$ , enquanto as outras constantes do sistema foram usadas em  $kcal/s$ . O valor desta é de  $0,24 \cdot 10^{-3}$  e foi obtida convertendo as unidades de  $kcal$  para  $J$ .

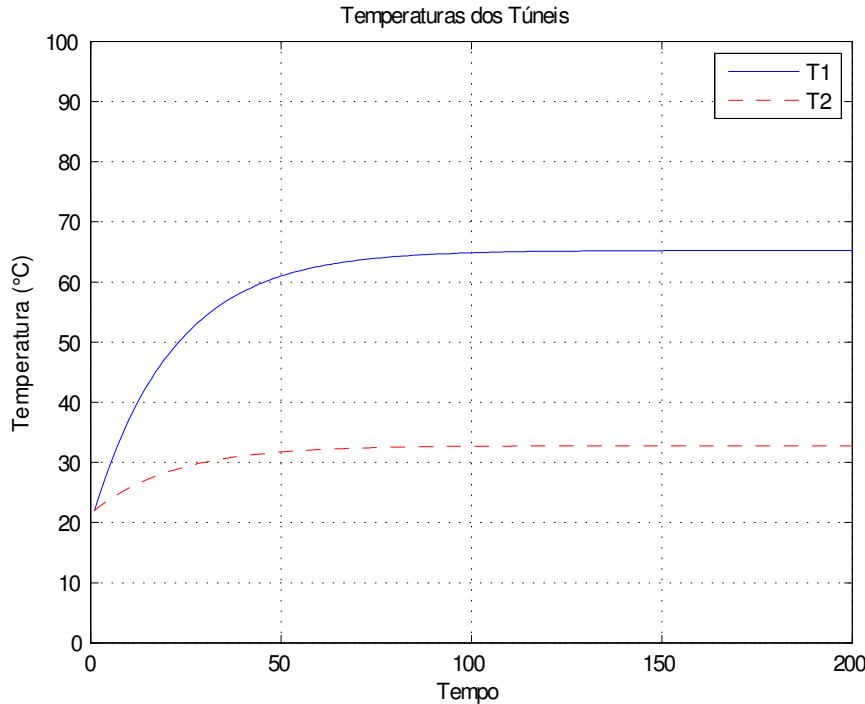


Figura 3.1: Resultado do simulador.

### 3.2 *Hardware in the Loop*

Um dos objetivos do trabalho foi estabelecer a comunicação entre o simulador desenvolvido no Matlab e um CLP da *Rockwell Automation* através da interface de comunicação OPC com objetivo de verificar seu funcionamento com a atuação de um controlador PID real. Essa técnica é conhecida como *Hardware in the Loop*.

Neste trabalho, tanto o servidor quanto o cliente OPC foram executados no mesmo computador. Um servidor OPC é um aplicativo de software que atua como um API (*Application Programming Interface*). O servidor OPC se conecta a um dispositivo, como um PLC, ou uma fonte de dados como um banco de dados, e traduz os dados em um formato padrão OPC. No caso do cliente, quem exerceu esta função foi a rotina do Matlab que executou o simulador, o qual se conectou ao servidor OPC, permitindo tanto a leitura quanto a escrita de dados. No caso do servidor, quem desempenhou o papel foi o software RSLinx, da Rockwell Automation, o qual realizou a comunicação com o CLP. Desse modo, como pode ser percebido, a interface OPC serviu para a comunicação entre sistemas de fabricantes diferentes: uma rotina Matlab e um CLP Rockwell. A representação para a comunicação cliente-servidor para a plataforma está mostrada na Figura 3.2.

A comunicação OPC usada teve em vista a simulação do controle do soprador térmico. Para tanto, o simulador desenvolvido no ambiente Matlab serviu como planta real, enquanto o CLP permitiu o uso do controlador PID, realizando os devidos cálculos das variáveis de controle. Desse modo, a saída do simulador foi escrita no CLP como o PV (*Process Variable*) do controlador e, após os cálculos realizados, a saída do controlador (MV) foi lida pelo Matlab como entrada da planta, realizando assim o controle devido.

Para a malha do túnel 1, a variável de entrada da planta é a tensão aplicada na



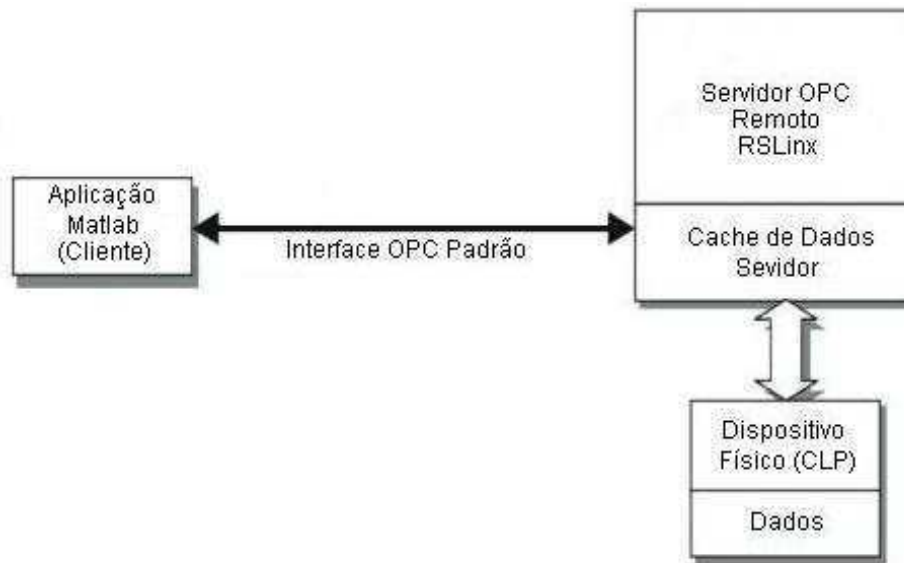


Figura 3.2: Comunicação cliente-servidor

resistência  $V_1$ , que é lido do CLP como sendo MV, enquanto a variável a ser controlada é a temperatura de saída  $T_1$ , que é lida pelo CLP como sendo PV. No caso da malha do túnel 2, a entrada do processo é  $V_2$  e a saída é a temperatura  $T_2$ , sendo que o controle é realizado do mesmo modo. A representação do sistema em malha fechada está mostrada na Figura 3.3. O código do Matlab para a comunicação OPC do simulador encontra-se no Anexo A

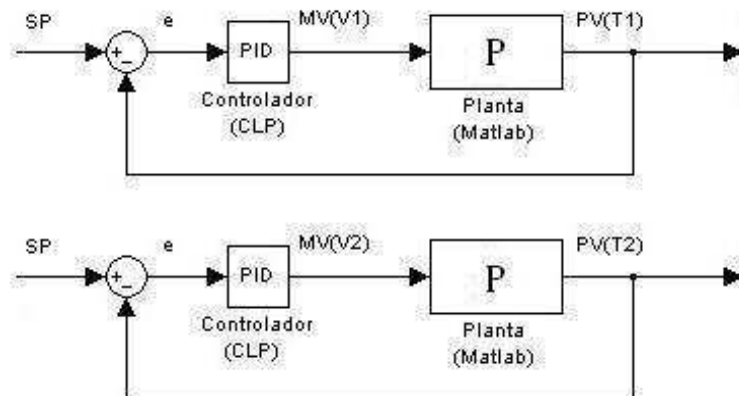


Figura 3.3: Representação do sistema em malha fechada.

Para verificação do funcionamento do simulador atuando sob o controle do CLP, primeiramente estabeleceu-se o *Set Point* para do túnel 1 com uma temperatura de  $50^{\circ}C$ , reduzindo este valor, após a estabilização, para um valor de  $30^{\circ}C$ . O resultado obtido para o túnel 1 está mostrado na Figura 3.4. É importante destacar que foram usados valores arbitrários para os parâmetros do PID. Conseqüentemente, as respostas do sistema às mudanças em sua entrada não são otimizadas, o que pode ser mudado em trabalhos posteriores, ao se realizar a sintonia mais adequada para o controlador.

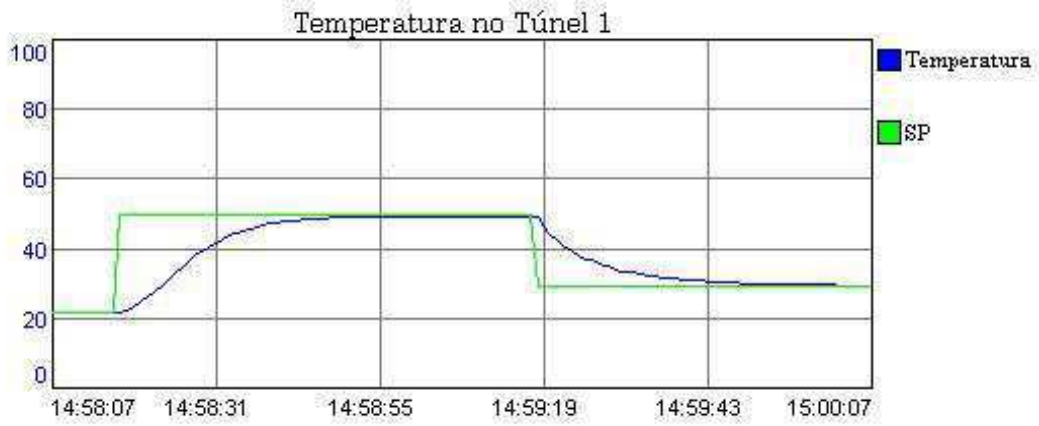


Figura 3.4: Comportamento do simulador controlado pelo CLP.

A partir dos resultados verificados, pode-se concluir que o modelo desenvolvido representa com fidelidade o sistema real, sendo assim de grande utilidade para a obtenção das funções de transferência no momento do projeto dos controladores.

# Capítulo 4

## Sistema Supervisório

### 4.1 CLP

O programa utilizado no CLP para a realização do controle do simulador e do sistema real foi desenvolvido na linguagem de programação Ladder (o código é mostrado no Anexo B). Nele foram utilizados quatro controladores PID, sendo dois deles destinados ao controle dos dois túneis do sistema real, e dois destinados ao controle do simulador, ou seja, para o mesmo programa sendo executado no CLP, o usuário pode fazer experimentos tanto no sistema real quanto no modelo.

No caso do controle do simulador o usuário tem acesso às variáveis de controle do controladores (SP, PV e MV) e aos parâmetros dos mesmos ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ), sendo possível realizar operações de leitura e escrita através do sistema supervisório. Além destes, é possível ter acesso às variáveis do simulador que representam as aberturas laterais dos túneis.

Para o caso do controle do sistema real, foi estabelecido o acesso por parte do usuário às variáveis de controle e aos parâmetros dos controladores, assim como no caso do simulador, mas com o acréscimo do acesso à parâmetro que estabelece o maior valor na saída do PID, ou seja, o valor máxima para o MV do controlador. Uma vez que para valores muito altos de tensão é possível que haja danos para o equipamento, o limite deste parâmetro serve como medida de segurança.

### 4.2 Interface do Sistema Supervisório

O sistema supervisório foi desenvolvido para facilitar a interação do usuário ao realizar experimentos com o soprador térmico. Uma vez que ler ou escrever dados diretamente no CLP poderia ser uma tarefa não tão simples para aqueles que não tem familiaridade com equipamento, o *software* estabelece todas as comunicações necessárias, servindo como interface entre o usuário e o sistema. Para a sua implementação, foi utilizado mais um *software* da *Rockwell Automation*, o RSVIEW, o qual foi criado especificamente para o desenvolvimento de sistemas supervisórios.

A interface desenvolvida teve a intenção de dar acesso tanto ao ambiente simulador quanto ao sistema real. Desse modo, foi estabelecida uma tela inicial onde existem as

opções de qual dos ambientes o operador deseja visualizar. A tela inicial é mostrada na Figura 4.1



Figura 4.1: Tela inicial do sistema supervisório.

Pode-se perceber na Figura 4.1 a existência de displays relacionados aos parâmetros dos túneis. Estes estão diretamente ligados aos *tags* executados no programa do CLP, servindo assim como monitores destas variáveis do controlador. Isso pode ser útil em situações onde o usuário deseja apenas visualizar os parâmetros principais do sistema, como a temperatura na saída dos túneis e as tensões aplicadas nas resistências.

Ao se escolher a opção de visualização do sistema real, a interface mostrada na Figura 4.2 será exibida na tela. Nela é acessível ao operador o monitoramento das temperaturas dos túneis, bem como das variáveis de saída dos controladores PID, tanto por meio de displays quanto por meio de gráficos, o que facilita o acompanhamento do comportamento destas ao longo do tempo. Além dessas vantagens, é possível ao usuário escolher os parâmetros dos PID's segundo os seus critérios e estabelecer os limites das variáveis manipuláveis (MV), o que serve como medida preventiva para que o soprador não atinja temperaturas que sejam perigosas para sua estrutura. Obviamente, também é permitido ao usuário estabelecer a temperatura desejada na saída dos túneis.

No momento da construção da interface, cada display ou gráfico foi atribuído ao respectivo *tag* do CLP o qual se deseja interagir. Vale destacar que alguns dos displays, como os que mostram a tensão aplicada nas resistências ou os que mostram as temperaturas nas saídas dos túneis, estabelecem apenas relação de leitura com o CLP, o que é o caso também dos gráficos. Já outros displays, como os que mostram os parâmetros dos PID's servem tanto para leitura quanto para escrita.

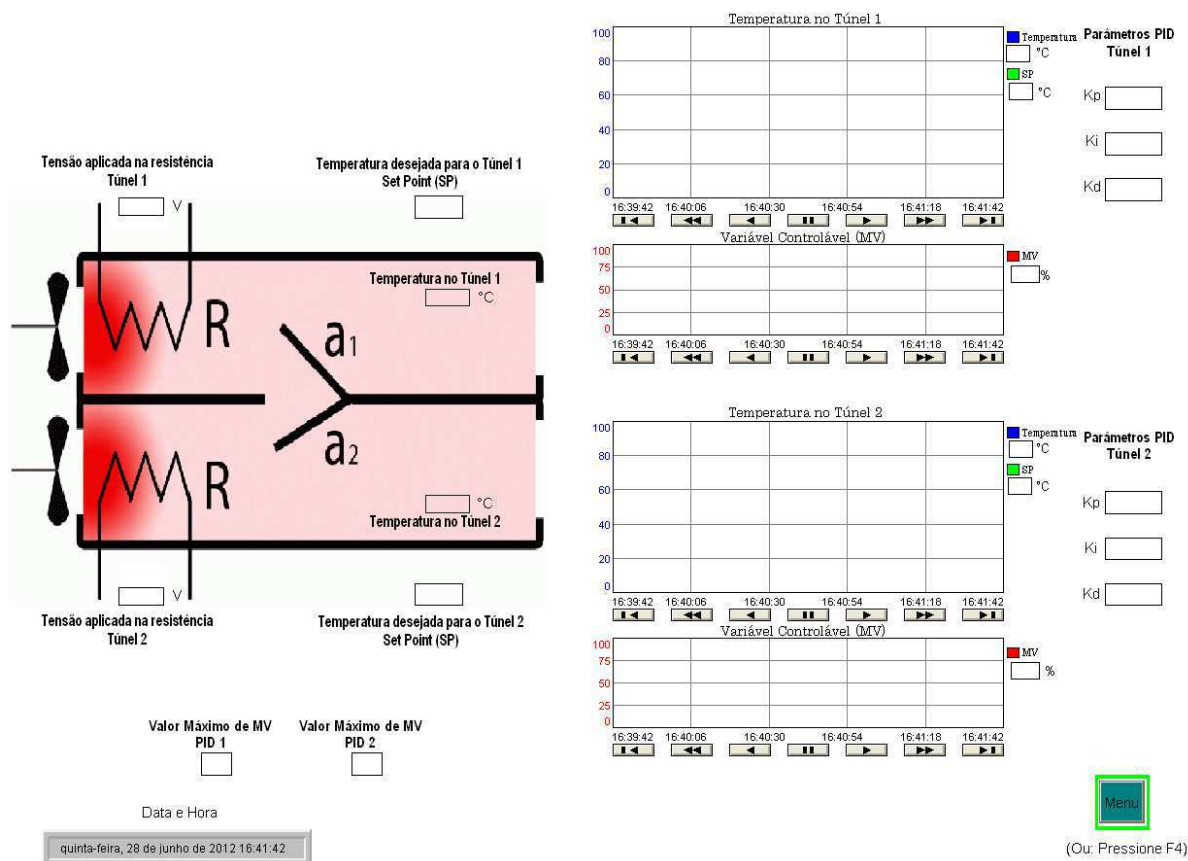


Figura 4.2: Interface do supervisor para o sistema real.

Do mesmo modo, ao se escolher a opção de visualização do simulador, a interface mostrada na Figura 4.3 será exibida na tela.

Como pode ser visto na figura, a interface é praticamente idêntica à interface do sistema real. O que a diferencia é que os seus displays e gráficos estão relacionados aos *tags* da rotina do CLP destinados ao controle do simulador. Além disso, pode-se perceber que existe um display destinado a inserir os valores para as aberturas laterais dos túneis, uma vez que esse parâmetro também é simulado no modelo.

Nas figuras mostradas é possível perceber no canto inferior direito a existência de um botão de retorno ao menu inicial. Isso é útil para o caso de o operador, após estabelecer os parâmetros necessários, querer apenas monitorar as variáveis principais, que são o Set Point, a temperatura e a tensão aplicada na resistência. Além disso, uma vez que ao sair de alguma das interfaces os displays e os gráficos continuam armazenando os dados, é possível ao usuário realizar monitorar tanto o sistema real quanto o simulador, não perdendo informação ao navegar entre as interfaces.

Para o caso de não haver nenhuma conexão ativa, o sistema supervisor foi desenvolvido para que o operador tenha acesso às diversas interfaces, não tendo, entretanto, nenhum recebimento ou escrita de dados.

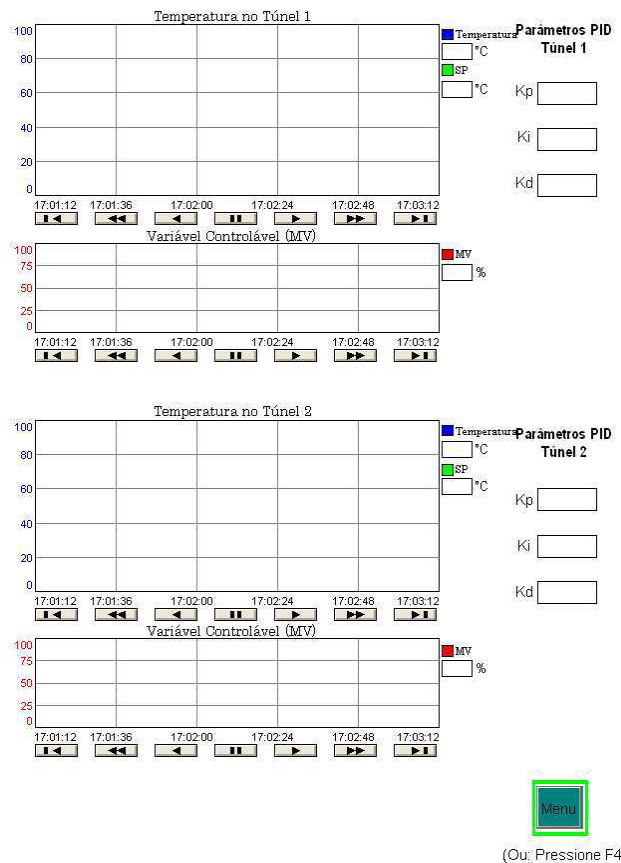
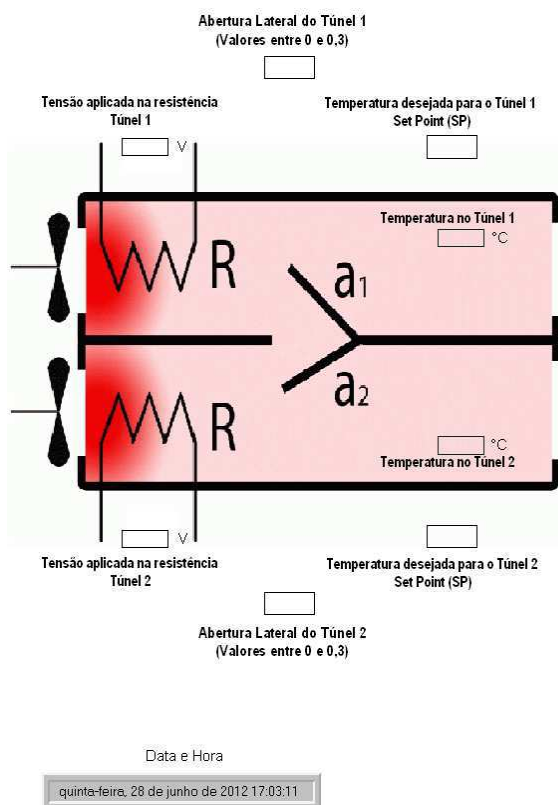


Figura 4.3: Interface do supervisor para o simulador.

# Capítulo 5

## Conclusão

Neste trabalho foi elaborado, assim como proposto, um modelo e um simulador para o soprador térmico encontrado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). Além destes, foi estabelecida a comunicação via interface OPC do referido simulador com um CLP da *Rockwell Automation*, o que serviu de base para o desenvolvimento do sistema supervisorio para a plataforma. Dessa forma, pode-se concluir que o trabalho foi fiel no cumprimento dos objetivos propostos.

Allém disso, o estágio realizado foi de grande utilidade para a formação acadêmica, uma vez que foi possível, além de utilizar os conceitos absorvidos em sala de aula, ter contato com técnicas e equipamentos cuja familiaridade foi limitada ou inexistente ao longo do curso. Ainda mais, serviu como preparo para um posterior vínculo empregatício, já que o trabalho foi desenvolvido obedecendo-se a metas e com prestação de relatórios frequentes.

Como sugestão para trabalhos posteriores, fica a análise detalhada das constantes utilizadas no modelo, uma vez que estas foram aproximadas de modo arbitrário; a realização do projeto de controladores para o sistema, já que toda a estrutura de comunicação e realimentação em malha já estão estabelecidas, e, por último, fica sugerido o preparo do sistema para comunicação remota, o que permitirá a realização de experimentos sem a necessidade do operador se encontrar no mesmo local da plataforma.

Por fim, conclui-se que o estágio realizado foi um sucesso naquilo para o que foi proposto.

# Referências Bibliográficas

- [1] OGATA, K., Engenharia de Controle Moderno, 4<sup>o</sup> ed., São Paulo: Prentice Hall, 2008
- [2] *RSView Supervisory Edition User's Guide*, Vol 1, Rockwell Automation, 2005
- [3] *RSView Supervisory Edition User's Guide*, Vol 2, Rockwell Automation, 2005
- [4] BRYAN, L. A.; BRYAN, E. A., *Programmable Controllers: Theory and Implementation*, 2nd ed., Industrial Text Company, Atlanta, 1997.
- [5] <http://www.opcfoundation.org/Products/Specifications.aspx?CM=-1> (Acesso em: 11 de maio de 2012)



# Apêndice A

## Código do Simulador do Soprador Térmico (Matlab)

```
%Simulacao de um soprador termico

clc
clear all
close all

%Conecta ao servidor e cria o grupo
server_clp = opcda('localhost', 'RSLinx Remote OPC Server');
connect(server_clp);

processPV1 = addgroup(server_clp);
processMV1 = addgroup(server_clp);
processSP1 = addgroup(server_clp);
process_alfa = addgroup(server_clp);

processPV2 = addgroup(server_clp);
processMV2 = addgroup(server_clp);
processSP2 = addgroup(server_clp);
process_beta = addgroup(server_clp);

PV1 = additem(processPV1, '[Peltier_compact]TAG1_PV', 'double');
MV1 = additem(processMV1, '[Peltier_compact]TAG1_U', 'double');
SP1 = additem(processSP1, '[Peltier_compact]TAG1_SP', 'double');
alf = additem(process_alfa, '[Peltier_compact]Alfa', 'double');

PV2 = additem(processPV2, '[Peltier_compact]TAG2_PV', 'double');
MV2 = additem(processMV2, '[Peltier_compact]TAG2_U', 'double');
SP2 = additem(processSP2, '[Peltier_compact]TAG2_SP', 'double');
bet = additem(process_beta, '[Peltier_compact]Beta', 'double');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```

%Variaveis do processo

%Entradas Controlaveis

% V1=100;
  %V2=100;

%Parametros do processo
C=4.8*10^-3; %kcal/\U{b0}C
c=0.24;      %kcal/kg\U{b0}C
R=100;      %ohms
G1=8*10^-3; %kg/s %Considerou-se uma vazao de cerca de 6.5 l/s
G2=8*10^-3;

K=0.3*10^-3;      %kcal/s\U{b0}C

%Parametros controlaveis

alfa=0.0;
beta=0.0;

%Parametros da simulacao
step = .1;

%Inicializacao de variaveis que serao integradas

T0=22;
T1=T0;
T2=T0;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i = 1:5000000

    V1 = MV1.Value;
    V2 = MV2.Value;

    alfa=alf.Value;
    beta=bet.Value;

\quad dT1dt = 1/C*(((1-alfa)*(V1^2)/R + beta*(V2^2)/R)*(0.24*10^-3)
\quad -(K+(1-alfa)*G1*c+beta*G2*c)*(T1(i)-T0));
\quad dT2dt = 1/C*(((1-beta)*(V2^2)/R + alfa*(V1^2)/R)*(0.24*10^-3)
\quad -(K+(1-beta)*G2*c+alfa*G1*c)*(T2(i)-T0));

%Integracao numerica
T1(i+1) = integrate_euler(T1(i),dT1dt,step);
T2(i+1) = integrate_euler(T2(i),dT2dt,step);

```

```

write(PV1,T1(i+1))
write(PV2,T2(i+1))

pv1(i) = PV1.Value;
pv2(i) = PV2.Value;

%   figure(1);
%   plot(1:i,pv1(1:i),'-b'),grid on,TITLE('Temperaturas dos Tuneis')
%   hold on
%   plot(1:i,pv2(1:i),'--r')
%   xlabel('Tempo');
%   ylabel('Temperatura (\U{b0}C)');
%   legend('Tunel 1','Tunel 2');
%   axis([0 i 0 60]);
%   drawnow;

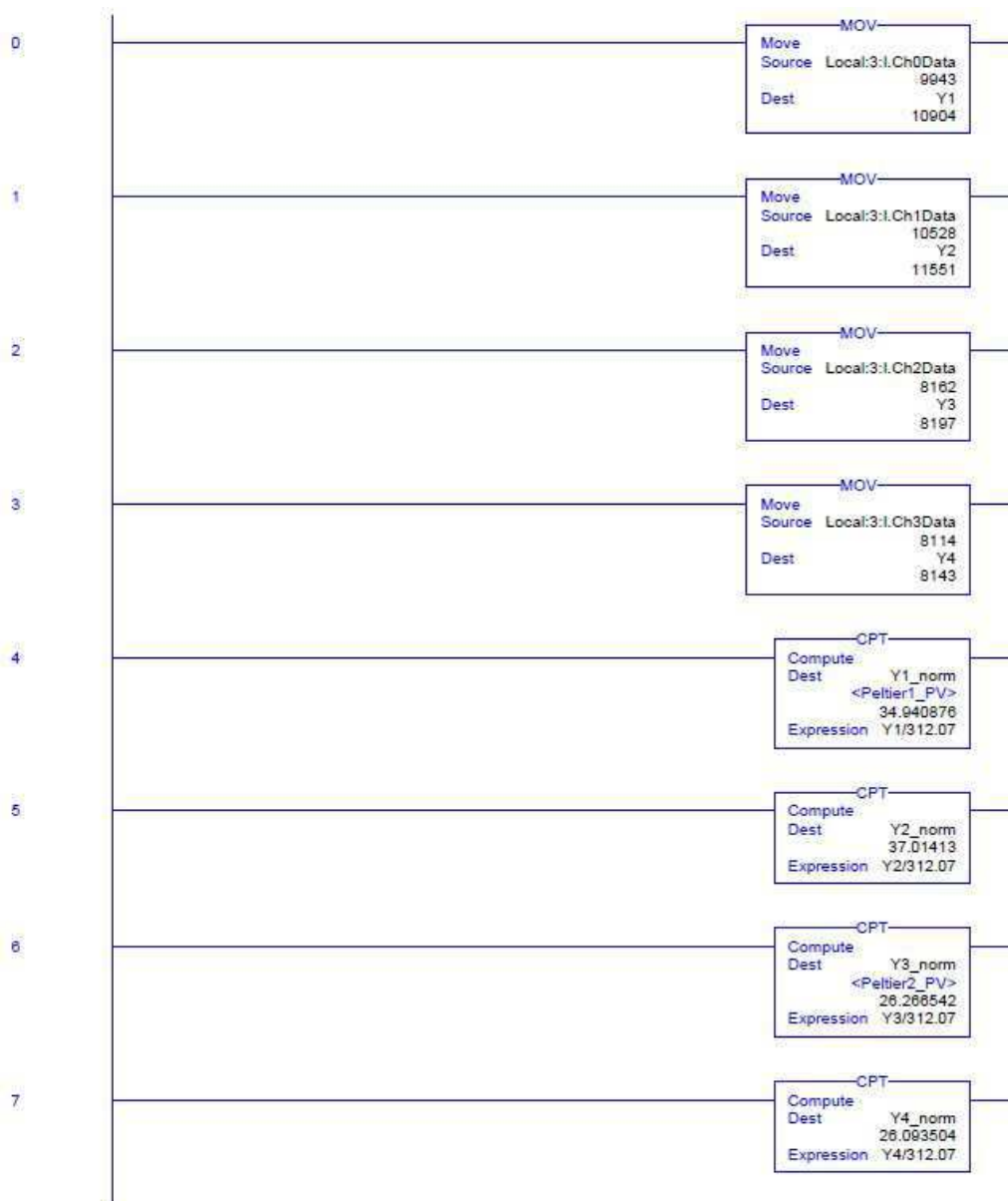
end

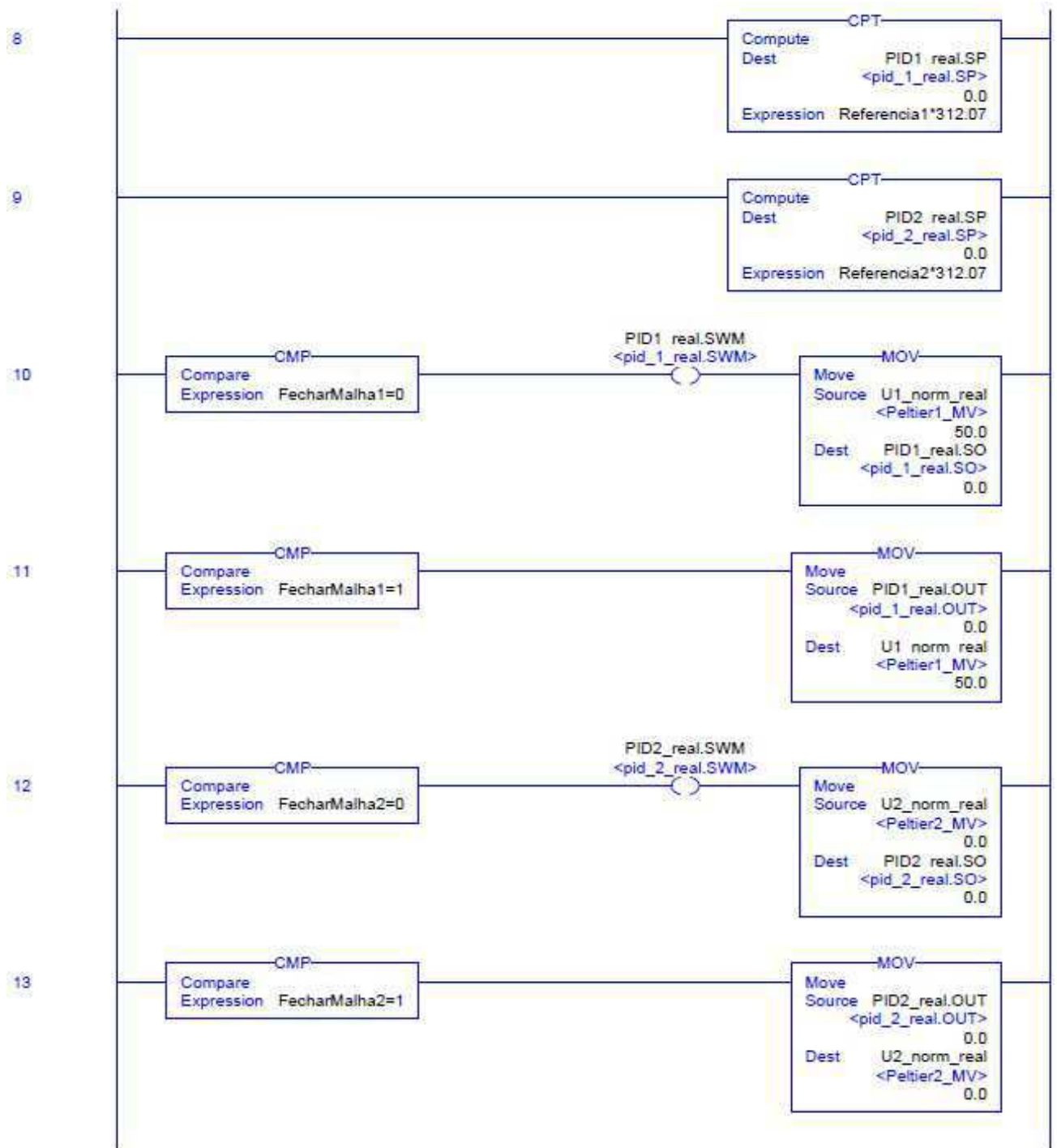
```

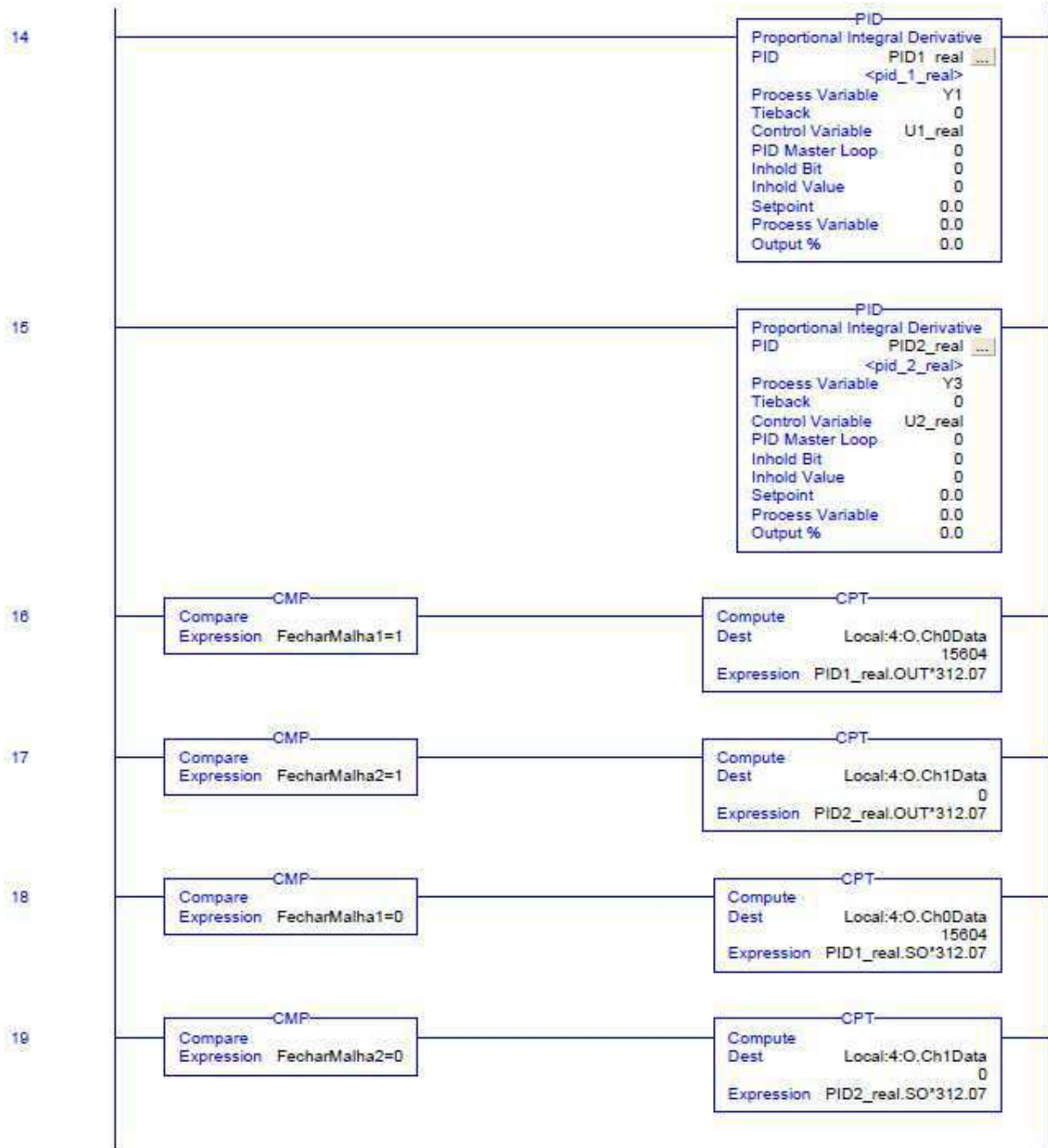
# Apêndice B

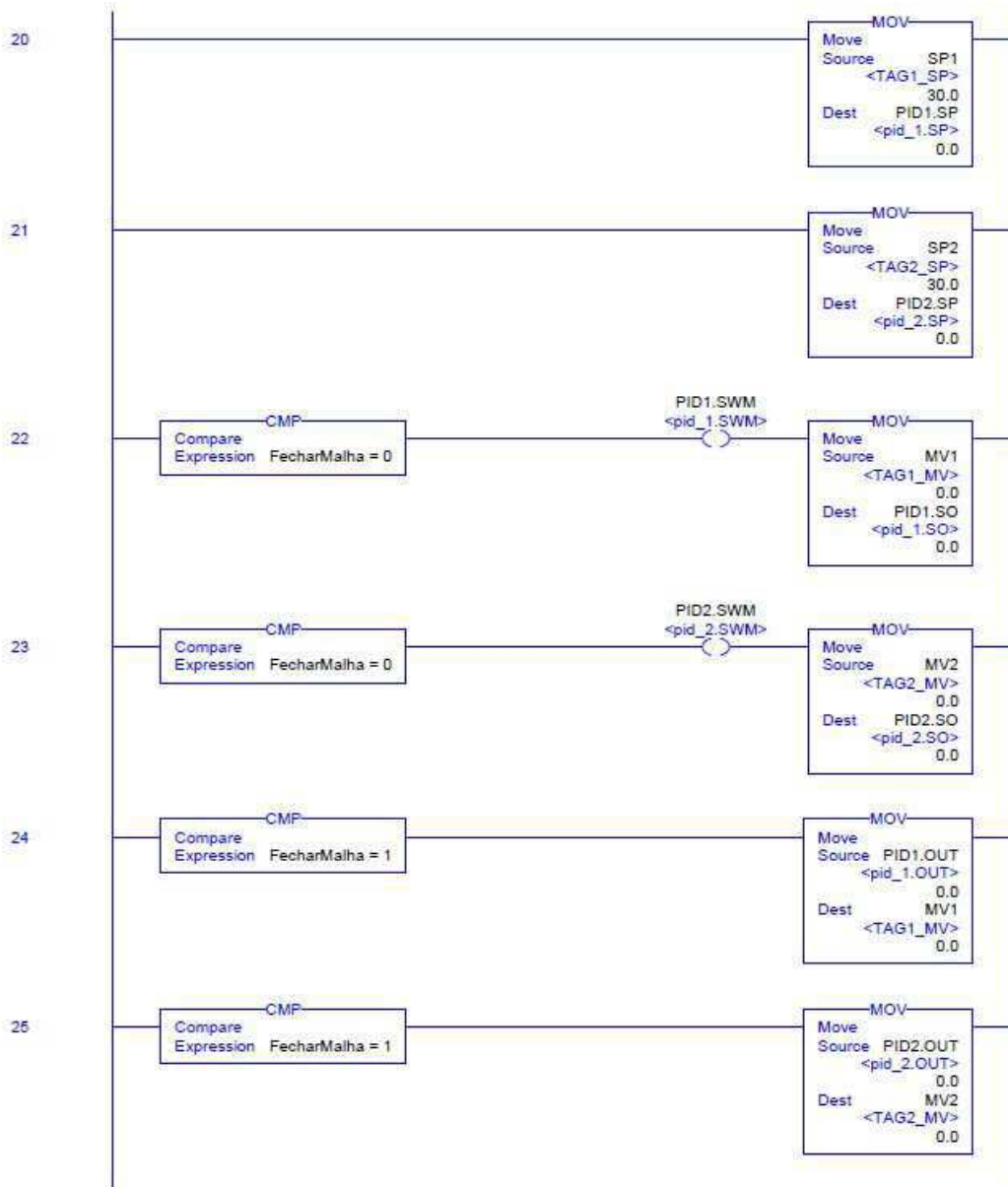
## Código em Ladder para o CLP

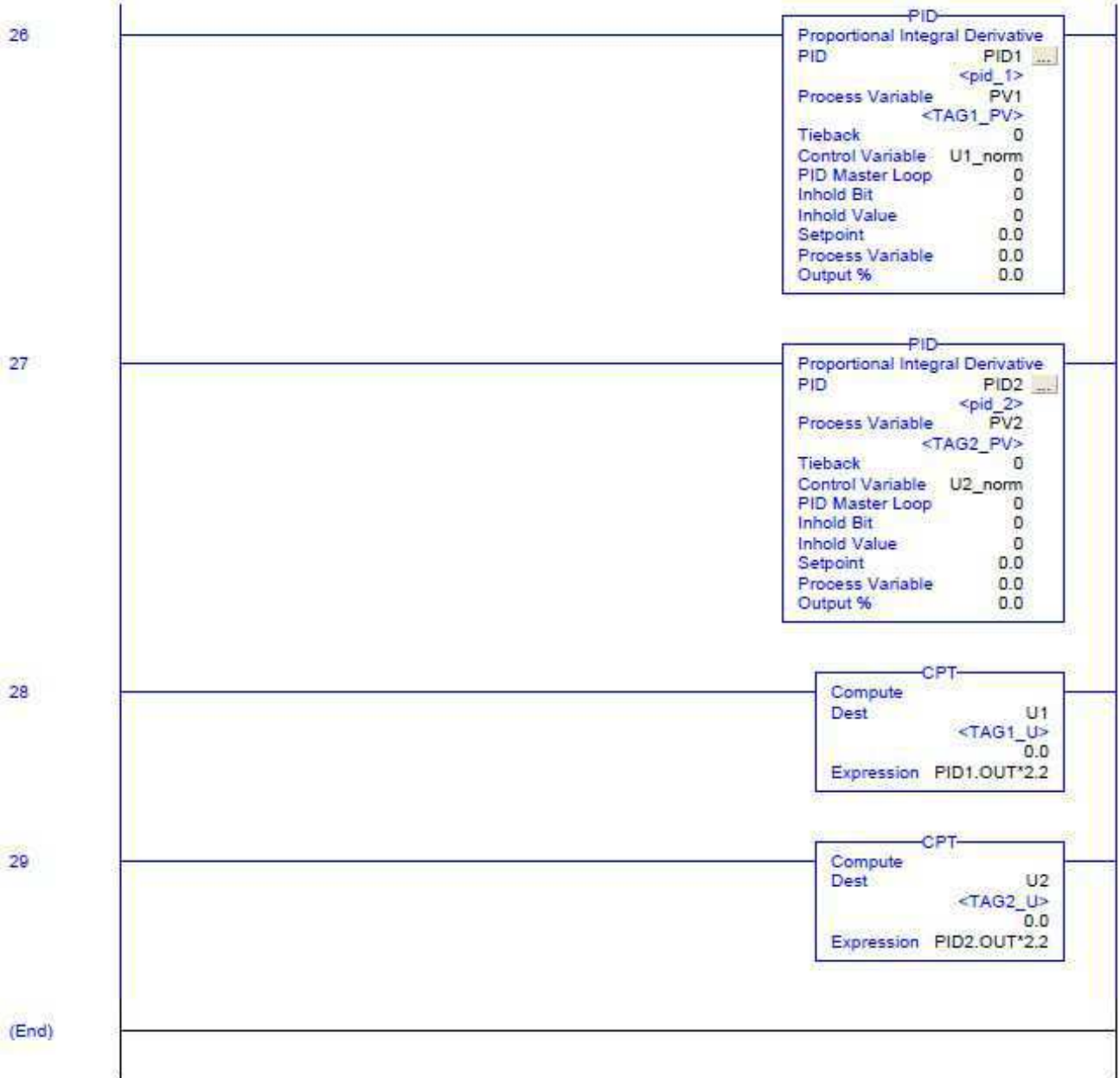
### B.1 Diagrama em Ladder













## B.2 Tags do Controlador

Name	Alias For	Base Tag	Data Type	Style
TAG2_U			REAL	Float
TAG2_SP			REAL	Float
TAG2_PV			REAL	Float
TAG2_MV			REAL	Float
TAG1_U			REAL	Float
TAG1_SP			REAL	Float
TAG1_PV			REAL	Float
TAG1_MV			REAL	Float
RangeMax2	pid_2_real.MAXD	pid_2_real.MAXD	REAL	Float
RangeMax1	pid_1_real.MAXD	pid_1_real.MAXD	REAL	Float
PID2_KP	pid_2.KP	pid_2.KP	REAL	Float
PID2_KI	pid_2.KI	pid_2.KI	REAL	Float
PID2_KD	pid_2.KD	pid_2.KD	REAL	Float
PID1_KP	pid_1.KP	pid_1.KP	REAL	Float
PID1_KI	pid_1.KI	pid_1.KI	REAL	Float
PID1_KD	pid_1.KD	pid_1.KD	REAL	Float
⊕-pid_2_real			PID	
⊕-pid_2			PID	
⊕-pid_1_real			PID	
⊕-pid_1			PID	
Peltier2_SP			REAL	Float
Peltier2_PV			REAL	Float
Peltier2_MV			REAL	Float
Peltier2_Kp	pid_2_real.KP	pid_2_real.KP	REAL	Float
Peltier2_Ki	pid_2_real.KI	pid_2_real.KI	REAL	Float
Peltier2_Kd	pid_2_real.KD	pid_2_real.KD	REAL	Float
Peltier1_SP			REAL	Float
Peltier1_PV			REAL	Float
Peltier1_MV			REAL	Float
Peltier1_Kp	pid_1_real.KP	pid_1_real.KP	REAL	Float
Peltier1_Ki	pid_1_real.KI	pid_1_real.KI	REAL	Float
Peltier1_Kd	pid_1_real.KD	pid_1_real.KD	REAL	Float
⊕-OUT2	Local:4:0.Ch1Data	Local:4:0.Ch1Data	INT	Decimal
⊕-OUT1	Local:4:0.Ch0Data	Local:4:0.Ch0Data	INT	Decimal
⊕-MODE2			INT	Decimal
⊕-MODE1			INT	Decimal
⊕-MODE			INT	Decimal

## B.3 Tags do Programa

	Name	Alias For	Base Tag	Data Type	Style
▶	Y4_norm			REAL	Float
	+Y4			INT	Decimal
	Y3_norm	Peltier2_FV(C)	Peltier2_FV(C)	REAL	Float
	+Y3			INT	Decimal
	Y2_norm			REAL	Float
	+Y2			INT	Decimal
	Y1_norm	Peltier1_FV(C)	Peltier1_FV(C)	REAL	Float
	+Y1			INT	Decimal
	+U2_real			INT	Decimal
	U2_norm_real	Peltier2_MV(C)	Peltier2_MV(C)	REAL	Float
	U2_norm			REAL	Float
	U2	TAG2_U(C)	TAG2_U(C)	REAL	Float
	+U1_real			INT	Decimal
	U1_norm_real	Peltier1_MV(C)	Peltier1_MV(C)	REAL	Float
	U1_norm			REAL	Float
	U1	TAG1_U(C)	TAG1_U(C)	REAL	Float
	SP2	TAG2_SP(C)	TAG2_SP(C)	REAL	Float
	SP1	TAG1_SP(C)	TAG1_SP(C)	REAL	Float
	Referencia2	Peltier2_SP(C)	Peltier2_SP(C)	REAL	Float
	Referencia1	Peltier1_SP(C)	Peltier1_SP(C)	REAL	Float
	RANGE_MIN	RangeMax1(C)	pid_1_real.MAXO(C)	REAL	Float
	RANGE_MAX	RangeMax2(C)	pid_2_real.MAXO(C)	REAL	Float
	PV2	TAG2_PV(C)	TAG2_PV(C)	REAL	Float
	PV1	TAG1_PV(C)	TAG1_PV(C)	REAL	Float
	+PID2_real	pid_2_real(C)	pid_2_real(C)	PID	
	+PID2	pid_2(C)	pid_2(C)	PID	
	+PID1_real	pid_1_real(C)	pid_1_real(C)	PID	
	+PID1	pid_1(C)	pid_1(C)	PID	
	MV2	TAG2_MV(C)	TAG2_MV(C)	REAL	Float
	MV1	TAG1_MV(C)	TAG1_MV(C)	REAL	Float
	+FecharMalha2	MODE2(C)	MODE2(C)	INT	Decimal
	+FecharMalha1	MODE1(C)	MODE1(C)	INT	Decimal
	+FecharMalha	MODE(C)	MODE(C)	INT	Decimal