

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



**Desenvolvimento de Kit Didático para Simulação de
Processos à Batelada**

David Pinheiro André Junior

PROJETO DE FORMATURA/2008

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



PROJETO DE FORMATURA / 2008

**Desenvolvimento de Kit Didático para Simulação de
Processos à Batelada**

**ALUNO: David Pinheiro André Junior
ORIENTADOR: Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes
COORDENADOR: Prof. Dr. Carlos Márcio Vieira Tahan**

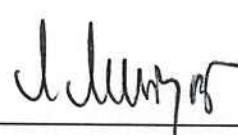
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROJETO DE FORMATURA

Desenvolvimento de Kit Didático para Simulação de
Processos à Batelada



David Pinheiro André Junior (Orientado)



Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes (Orientador)

Agradecimentos

Um agradecimento especial para meus pais Noely e David, minha irmã Fernanda e meu irmão Lucas que sempre me apoiaram em todos os momentos e em todas as minhas decisões durante esses cinco anos.

Aos meus avós Joel e Aracy, Nelson e Rosa e a minha tia Lilian.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes pela oportunidade de trabalharmos juntos, pelo apoio e pela ajuda no desenvolvimento desse projeto.

Ao corpo técnico e de engenharia da Indústria e Comércio Lavill Ltda. pelo apoio nas etapas iniciais deste projeto.

Aos meus colegas e amigos do Convênio Rockwell Automation – USP pela compreensão e paciência em meus momentos de ausência.

A todos os meus colegas e amigos de turma pelo tempo que passamos juntos. Especialmente ao Bruno, ao Caio, ao Matheus e ao Ricardo(Galvão) amigos inseparáveis.

A todos os meus amigos da equipe Thunderatz de Competição de Robôs pelos momentos difíceis e prazerosos que passamos juntos. Em especial aos meus grandes amigos Delso, Vitor(Frost), Fábio, Bruno, Dani e William(Moreno).

Sumário

1. Introdução.....	9
1.1. Controlador Lógico Programável (CLP)	9
1.2. Sistemas Supervisórios.....	16
1.3. Processos à Batelada	19
2. Objetivos.....	20
3. Metodologia Geral.....	21
3.1. Esquema Geral do Kit Didático	21
3.2. Etapas Realizadas	23
4. Projeto em Ambiente CAD e Montagem	24
4.1. Descrição do Projeto.....	24
4.2. Montagem	27
4.3. Projeto Final.....	30
4.3.1. Chapa de Sustentação Inferior	30
4.3.2. Chapa de Sustentação Superior.....	31
4.3.3. Tanque de Mistura	32
4.3.4. Tanque de Armazenamento de Ingredientes.....	34
4.3.5. Barra de Sustentação	35
4.3.6. Controlador Lógico Programável	36
4.3.7. Conversor AC/DC	37
4.3.8. Sensor de Nível	38

4.3.9. Motor	39
4.3.10. Válvulas Liga/Desliga	40
4.3.11. Termopar	41
5. Receitas	42
5.1. Produção de Biocombustível a partir de Óleos Vegetais	42
5.2. Alcoolquímica.....	43
6. Programação do CLP	45
6.1. Malha de Controle de Temperatura	47
6.2. Aplicativo do CLP.....	49
6.2.1. Sub-rotina VALVULA1	49
6.2.2. Sub-rotina VALVULA3	51
6.2.3. Sub-rotina NIVEL.....	51
6.2.4. Sub-rotina TEMPERATUR.....	53
6.2.5. Sub-rotina SEQUENCIA	54
7. Sistema Supervisório	59
8. Considerações Finais.....	67
9. Bibliografia	68

Índice de Figuras e Tabelas

Figura 1.1 – Arquitetura Controlador Lógico Programável [M C – 2001]	11
Figura 1.2 – Exemplo de Utilização do Diagrama Ladder	12
Figura 1.3 - Exemplo de Utilização do Diagrama de Blocos Funcionais.....	13
Figura 1.4 - Exemplo de Utilização do Diagrama de Fluxo Seqüencial	14
Figura 1.5 - Exemplo de Utilização do Texto Estruturado	15
Figura 1.6 – Exemplo de IHM com baixa definição de imagem e cor.....	17
Figura 1.7 – Sistema Supervisório com funcionalidades e gráficos aprimorados.....	18
Figura 3.1 - Esquema Geral do Kit Didático.....	21
Figura 4.1 - Vista Frontal do Kit Didático- Croqui	25
Figura 4.2 - Vista Superior do Kit Didático - Croqui	26
Figura 4.3 - Fotos da Montagem do Kit.....	28
Figura 4.4 - Foto do Kit Completamente Montado.....	29
Figura 4.5 - Chapa de Sustentação Inferior - Detalhe	31
Figura 4.6 - Chapa de Sustentação Superior - Detalhe.....	32
Figura 4.7 - Tanque de Mistura - Detalhe	33
Figura 4.8 - Tanque de Armazenamento de Ingredientes - Detalhe	34
Figura 4.9 - Barra de Sustentação - Detalhe	35
Figura 4.10 - Controlador Lógico Programável.....	36
Figura 4.11 - Conversor AC/DC	37
Figura 4.12 – Sensor de Nível Ultra-sônico	38
Figura 4.13 – Motor Acoplado ao Eixo do Misturador.....	39
Figura 4.14 – Detalhe do Eixo do Misturador.....	40
Figura 4.15 – Válvula Liga/Desliga do Tanque de Mistura	41
Figura 4.16 – Termopar tipo K encapsulamento bastão sem revestimento.....	41

Figura 6.1 – Interligação das Saídas Digitais.....	45
Figura 6.2 – Alocação dos racks do CLP	46
Tabela 6.1 – Entradas e Saídas do CLP.....	47
Figura 6.3 – Aplicativo do CLP – Divisão das Sub-rotinas	49
Figura 6.4 – Diagrama Ladder Válvula 1	50
Figura 6.5 – Diagrama Ladder Válvula 3	51
Figura 6.6 – Diagrama Ladder Nível – Condicionamento do Sinal	52
Figura 6.7 – Diagrama Ladder Nível – Sinalização de Eventos	53
Figura 6.8 – Diagrama Ladder Temperatur – Malha de Controle.....	54
Figura 6.9 – Diagrama Ladder Seqüência – Aquisição de Dados.....	56
Figura 6.10 – Diagrama Ladder Seqüência – Máquina de Estados.....	58
Figura 7.1 – Tela Inicial do Sistema de Supervisão.....	60
Figura 7.2 – Tela Principal do Sistema de Supervisão.....	61
Figura 7.3 – Pop-Up de Equipamentos – Motor.....	62
Figura 7.4 – Pop-Up de Equipamentos - Válvula.....	63
Figura 7.5 – Pop-Up de Controle PID	64
Figura 7.6 – Pop-Up do Gráfico do Controle PID	65
Figura 7.7 – Pop-Up de Inicialização do Processo a Batelada	66

1. Introdução

É notável a influência da globalização nos diversos setores da economia mundial, com o avanço das tecnologias de telecomunicações e com a evolução da internet ficou muito fácil anunciar e vender produtos entre países do mundo todo, isso aliado a um crescimento econômico acentuado, principalmente nas últimas décadas, obriga a todos os setores da economia a aprimorar suas estratégias e a atualizar suas tecnologias, especialmente o setor industrial.

1.1. Controlador Lógico Programável (CLP)

Na indústria até o final dos anos 60, a automação sempre foi baseada no uso de relés eletromecânicos. Eram esses relés os responsáveis pelos acionamentos de motores, pela lógica de operação do processo produtivo e pelos intertravamentos necessários para garantir a segurança do processo e das pessoas ao redor.

O uso desses relés tornava muito difícil a manutenção do sistema e a alteração de qualquer parâmetro do processo. Exemplo claro é o da indústria automobilística que fabricava, até então, carros em lotes, todos com características semelhantes, ou seja, suas revendedoras só ofereciam alguns modelos de carros, caso o cliente quisesse comprar outro modelo, ou cor, deveria esperar alguns meses até o modelo escolhido entrar em linha de produção.

Em 1969, o Controlador Lógico Programável (CLP) surgiu para atender a uma especificação da General Motors para facilitar a manutenção e alteração da lógica do painel de controle toda vez que uma mudança precisasse ser feita na linha de montagem, operações que causavam enormes perdas de tempo e dinheiro.

Desde 1969, os CLP's vêm sendo usados cada vez mais pela indústria, nos mais diversos segmentos. Atualmente esses controladores têm incorporadas diversas funcionalidades entre elas o controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), a capacidade de comunicação através de redes de automação e de internet e alguns, funcionalidades de lógica difusa (Fuzzy). Também, com o passar dos anos, houve uma evolução nas formas de programação de um CLP e na interface de monitoramento do processo que se tornou muito amigável para o operador, além da redução dos seus custos.

O CLP constitui-se basicamente de uma fonte de alimentação, memória (volátil e permanente), CPU, cartões de entrada e saída analógicas e digitais e interfaces de comunicação. A arquitetura descrita acima é ilustrada pelo diagrama da figura 1.1.

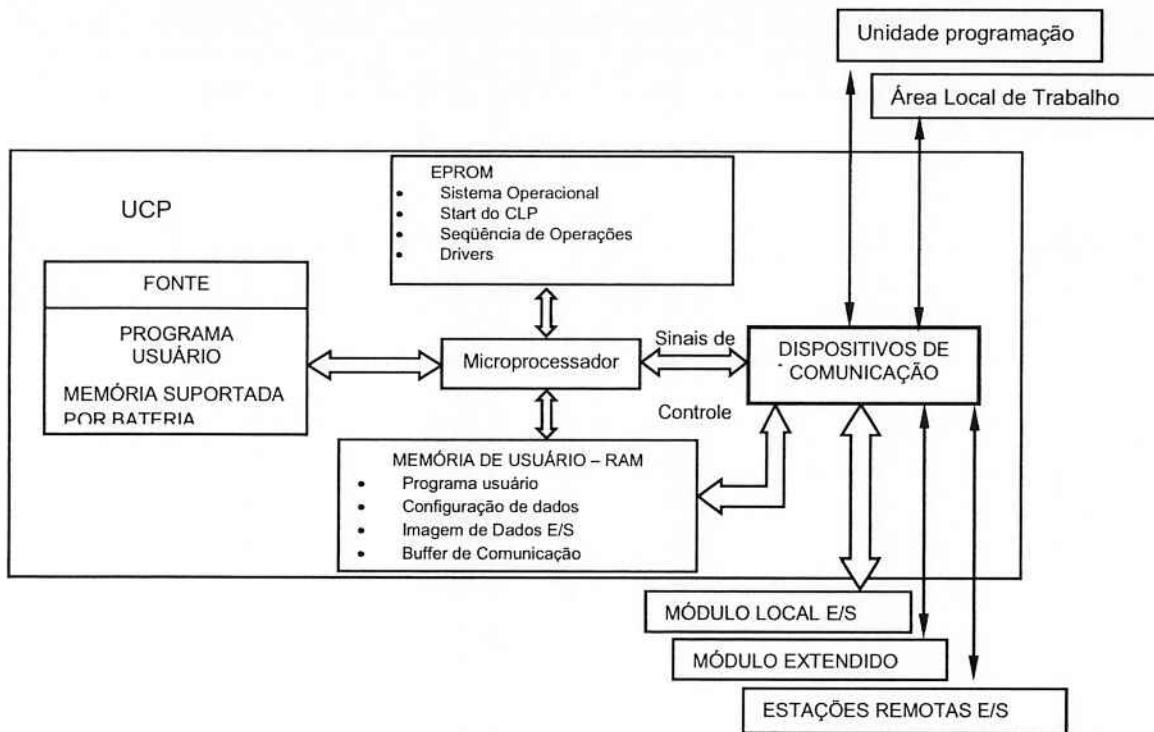


Figura 1.1 – Arquitetura Controlador Lógico Programável [M C – 2001]

Essa arquitetura de hardware possibilita a interação com computadores para a troca e armazenamento dos dados adquiridos pelo CLP e também para a programação do mesmo.

Com o avanço da tecnologia e o surgimento de computadores cada vez menores e mais portáteis se tornou muito fácil a programação desses dispositivos de controle.

Utilizando essas interfaces de programação é possível programar os CLP's com cinco linguagens de alto nível cada uma com suas peculiaridades, seus pontos fortes e suas deficiências. Essas linguagens estão definidas na Norma IEC 61131 – 3 e exemplificadas abaixo.

- **Diagrama Ladder:**

Foi a primeira linguagem a ser utilizada para a programação dos CLP's por ser muito parecida com os diagramas de interligação dos contatos dos relés eletromecânicos utilizados até então. Apesar de ter surgido para lidar com variáveis do tipo digital (que podem assumir apenas dois valores: 0/1, sim/não, ligado/desligado, etc.) passou a contar com funções específicas para a manipulação e leitura de variáveis analógicas (contínuas no tempo e discretizadas para a leitura no CLP) e também de textos. A figura 1.2 mostra um exemplo de utilização da linguagem ladder.

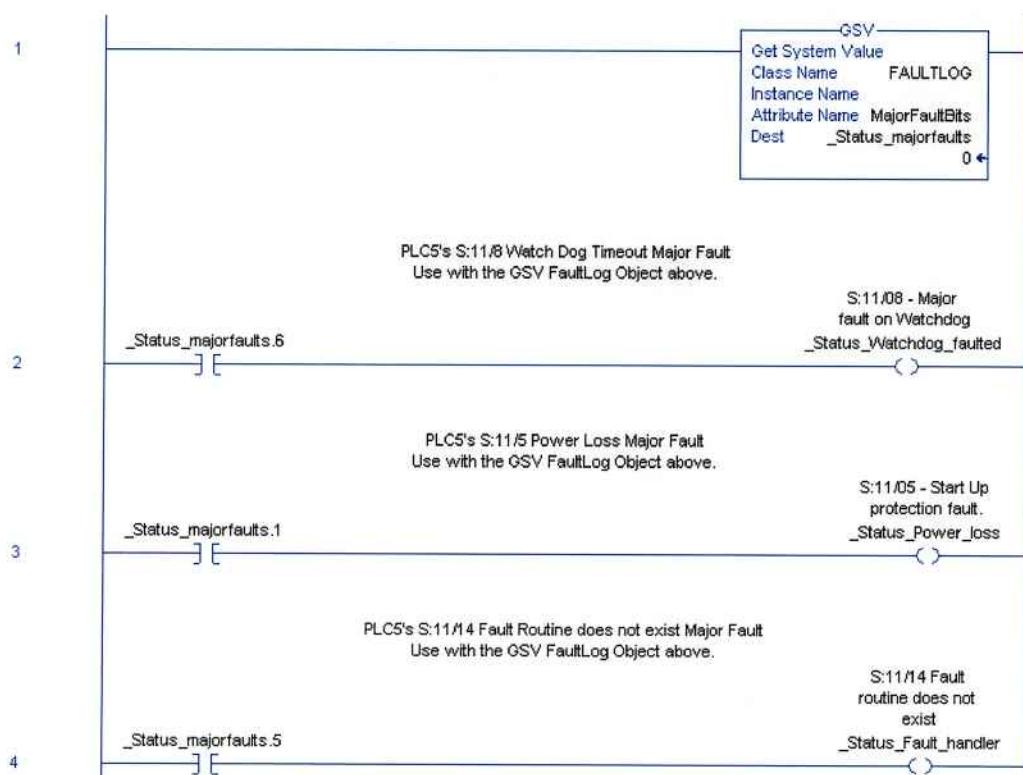


Figura 1.2 – Exemplo de Utilização do Diagrama Ladder

- **Diagrama de Blocos Funcionais:**

É a segunda linguagem mais utilizada na programação de controladores programáveis, tem sua origem nos diagramas funcionais para a especificação da lógica e dos intertravamentos para a automação de um processo. Mostra-se muito eficiente para a manipulação de variáveis analógicas pela facilidade de visualização das diversas malhas do processo. Também é capaz de manipular variáveis digitais, mas torna a visualização dos intertravamentos e seqüenciamentos menos intuitiva. A figura 1.3 ilustra a aplicação dessa linguagem.

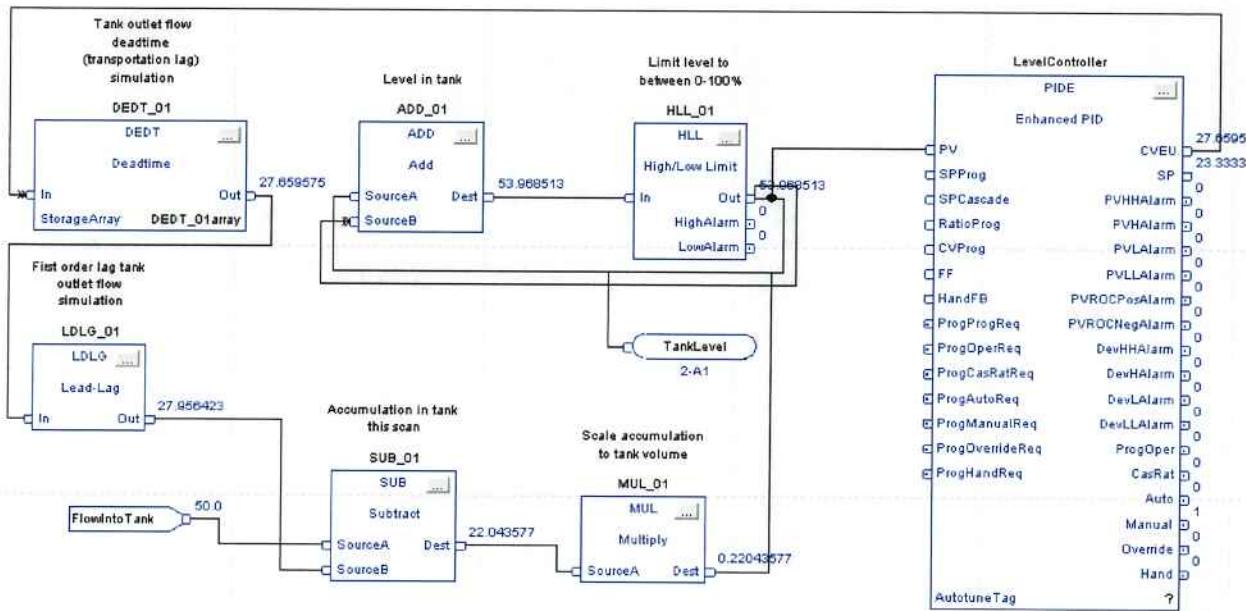


Figura 1.3 - Exemplo de Utilização do Diagrama de Blocos Funcionais

- **Diagrama de Fluxo Seqüencial:**

Apesar de não ser muito utilizada na programação dos controladores, essa linguagem é ideal para o seqüenciamento de operações e para a implementação de receitas. Normalmente é utilizada em conjunto com as demais linguagens para a automação de determinado processo. É originada nas redes de Petri utilizadas para a simulação e análise de sistemas a evento discreto. A figura 1.4 ilustra sua utilização.

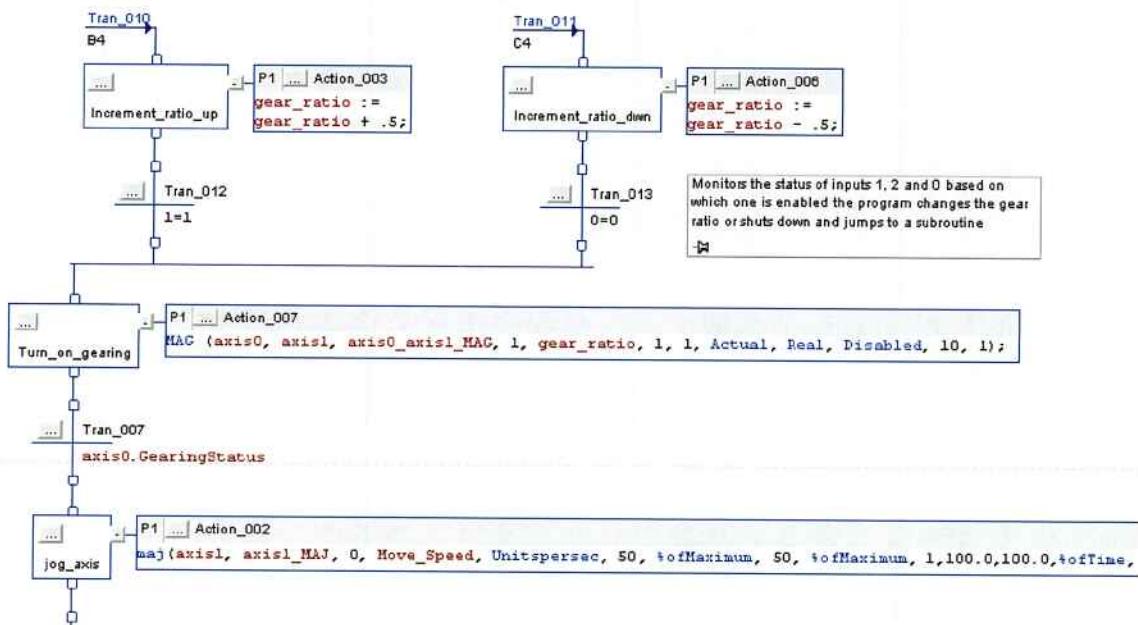


Figura 1.4 - Exemplo de Utilização do Diagrama de Fluxo Seqüencial

- **Texto Estruturado:**

Texto estruturado é originado nas linguagens de programação computacionais como C ou Pascal. Mostra-se tão eficiente para a manipulação de variáveis tanto analógicas quanto digitais. Ela não é muito utilizada pelo fato de ser textual. As linguagens listadas acima são gráficas e os operadores são símbolos representativos das funções lógicas. As linguagens textuais são menos intuitivas na implementação das lógicas e intertravamentos. A figura 1.5 ilustra a utilização dessa linguagem.

```
If State = 0 then
    MS0 (axis0, axis0_MS0);           (* Turn servos on and set tags to initial values *)
    MS0 (axis1, axis1_MS0);
    gear_ratio [:=] 0;
    State [:=] 1;
end_if;

If axis0.ServoActionStatus & axis1.ServoActionStatus & State = 1 then
    State := 2;
end_if;

    If State = 2 & input_1 then
        gear_ratio := gear_ratio + .5;           (** This IF statement monitors inputs 1, 2 & 0
                                                    Depending on which one is enabled the program will
                                                    increase or decrease the gear ratio. If input 0 is
                                                    program jumps to a subroutine called LadderFile.
        State := 3;
    elseif State = 2 & input_2 then
        gear_ratio := gear_ratio - .5;
        State := 3;
    elseif State = 2 & input_0 then
        State := 5;
    end_if;

If State = 3  then
    MAG (axis0, axis1, axis0_axis1_MAG, 1, gear_ratio, 1, 1, Actual, Real, Disabled, 10, 1);
end_if;

If State = 3 then
    maj(axis1, axis1_MAG, 0, Move_Speed, Unitspersec, 50, %ofMaximum, 50, %ofMaximum, 1,100,0,100
end_if;

If State = 3 & Local:0:I.Data = 0 then
    State := 1;
end_if;
```

Figura 1.5 - Exemplo de Utilização do Texto Estruturado

- **Lista de Funções.**

Apesar de ser uma das linguagens normatizadas pela IEC, ela não é muito utilizada para a programação de CLP's. Outros equipamentos como relés de proteção de linhas de transmissão ou micro-controladores utilizam essa linguagem como forma de programação.

Apesar de ser normatizado para todos os controladores programáveis, apenas os CLP's de maior porte podem ser programados nas quatro linguagens acima, independentemente do fabricante. Os CLP's de menor porte suportam apenas duas delas, usualmente Diagrama Ladder e Diagrama de Blocos Funcionais, ou às vezes somente uma, no caso o diagrama ladder.

Além das linguagens de programação os CLP's de diferentes portes se diferenciam pelo tamanho da memória de usuário, velocidade de processamento da CPU, tempo de varredura de entradas e saídas, entre outros aspectos.

1.2. Sistemas Supervisórios

Com o aumento da utilização de CLP's na automação dos processos industriais. Principalmente na manufatura, foi identificada a necessidade de um sistema de supervisão do processo automatizado que possua comunicação com o CLP para mostrar de forma amigável ao operador do processo ou da máquina os estados de operação desta planta. Ainda no início da década de 1970 surgiram os sistemas supervisórios para atender a essa demanda.

Os sistemas supervisórios (ou de supervisão) consistem basicamente de computadores ou equipamentos com os softwares necessários para a visualização das telas de supervisão desenvolvidas de acordo com o processo automatizado. Existem diversas implementações de sistema supervisório nas mais variadas linguagens de programação desde Delphi, Java, C++ até .NET, C-Sharp e Visual Basic. Os sistemas podem ser desenvolvidos na própria empresa onde se implantou a automação, com comunicação via OPC e supervisório desenvolvida por equipe interna, ou então ser desenvolvido através de um sistema supervisório comercial.

As telas a princípio só indicavam os estados dos alarmes digitais recebidos pelo CLP, possuíam baixa definição de cor e imagem e recursos muito limitados pela capacidade dos computadores e equipamentos da época. A figura 1.6 mostra uma IHM com poucos recursos gráficos e computacionais conforme descrito acima.



Figura 1.6 – Exemplo de IHM com baixa definição de imagem e cor.

Com a evolução dos computadores e das interfaces de rede disponíveis foi possível o desenvolvimento de sistemas supervisórios com funções de comando, como liga/desliga, abre/fecha e seleção de equipamentos redundantes. As interfaces de rede

mais aprimoradas contribuíram para uma facilidade maior no canal de comunicação entre o CLP e o sistema de supervisão contribuindo para a rapidez e para a otimização no tráfego de informações.

Com a tecnologia atual, é possível o desenvolvimento de sistemas de supervisão extremamente robustos, com arquitetura do tipo cliente-servidor (similar à arquitetura das redes de computadores) e possibilidade de redundâncias desde canais de comunicação a servidores. O avanço das tecnologias de manipulação e processamento de imagens possibilita o desenvolvimento de sistemas supervisórios com vários recursos gráficos que representam o mais fielmente possível o processo automatizado. Abaixo temos um exemplo de tela de sistema de supervisão com essas funcionalidades.

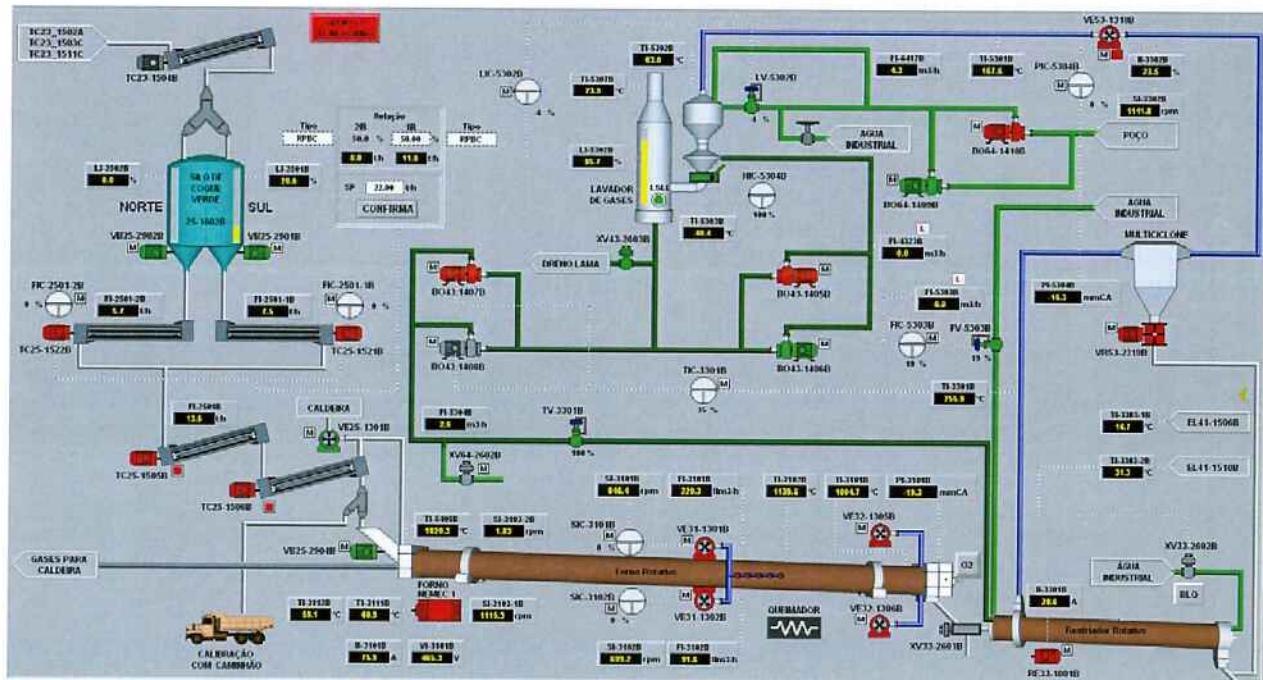


Figura 1.7 – Sistema Supervisório com funcionalidades e gráficos aprimorados

1.3. Processos à Batelada

Os processos à batelada são comumente designados pelo termo em inglês “Batch”.

De acordo com a norma ISA S88.01 uma batelada (termo usado para designar “a produção de uma batelada”) é o material sendo produzido ou que está passando por uma execução simples de um processo a batelada.

Ainda de acordo com a norma, um processo a batelada é aquele que leva a produção de quantidades finitas de material através da adição de diversas matérias-primas para um dado certo conjunto e ordem de atividades de processamento num período finito de tempo com a utilização de um ou mais equipamentos.

Processos desse tipo costumam utilizar receitas pré-prontas programadas nos CLP's para a seleção do operador. Com o uso de algumas funcionalidades dos sistemas de rede utilizados é possível ainda que o operador edite e salve as receitas que no CLP e/ou no sistema supervisório para posterior resgate e implementação.

Dentre os setores industriais que se utilizam desse sistema de produção encontram-se o setor farmacêutico, o setor alimentício, o setor de papel e celulose entre outros.

2. Objetivos

Este trabalho objetiva elaborar um projeto, e posteriormente a construir e implementar um kit didático representativo de uma planta industrial com processo produtivo a batelada, ou seja, uma planta que realize receitas para a fabricação de seus produtos. Dentre os setores da indústria que utilizam essa forma de produção estão o setor farmacêutico, o alimentício e o de papel e celulose.

3. Metodologia Geral

3.1. Esquema Geral do Kit Didático

De modo geral, o kit didático pode ser representado na Figura 2.1 a seguir:

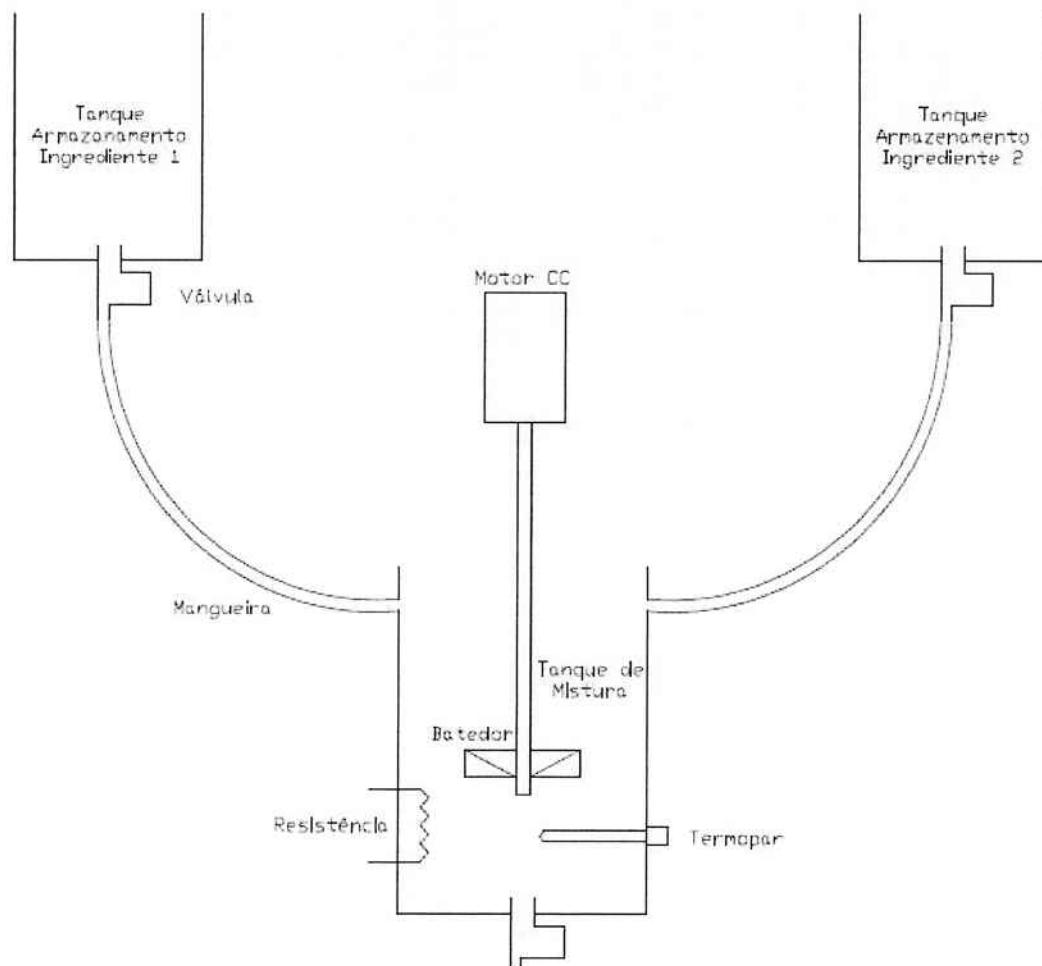


Figura 3.1 - Esquema Geral do Kit Didático

O processo industrial representado consiste na mistura de dois ingredientes em proporções diversas pré-estabelecidas. Nos tanques 1 e 2 ficam armazenados os ingredientes. As duas válvulas são controladas pelo CLP com abertura dependente do tipo de mistura a ser efetuada.

O motor CC é responsável pelo acionamento do misturador que dá forma final à mistura e torna a mesma homogênea tanto visualmente quanto termicamente.

O tanque onde é realizada a mistura tem sua temperatura controlada de acordo com as exigências do processo químico que será realizado. Essa malha de controle é realizada com o uso do termopar para a medida da temperatura e com o uso da resistência para o controle da transferência de calor.

O monitoramento do nível dos reagentes no tanque de mistura é feito através de um sensor ultra-sônico. Este sensor utiliza ondas sonoras de alta freqüência que ao atingirem qualquer tipo de anteparo (no caso a superfície do fluido) se refletem e atingem o sensor, pelo intervalo de tempo entre a emissão do pulso sônico e seu retorno (eco) é possível determinar a correta distância entre o sensor e o anteparo.

Os dois reagentes são conduzidos ao tanque de mistura através de duas mangueiras flexíveis e transparentes acopladas às válvulas.

3.2. Etapas Realizadas

O kit foi projetado em programa do tipo CAD até ser ajustado seu layout e suas dimensões finais. Feito esse dimensionamento foi efetuada a compra dos materiais necessários para a construção do protótipo.

Paralelamente à construção, foram pesquisadas as receitas, que são apenas sugestões de processos que podem ser realizados pelo kit didático.

O ajuste dos parâmetros da malha de controle PID, responsável pelo aquecimento dos reagentes no tanque de mistura, foi calculado com a utilização de algoritmos consagrados para a sintonia de malhas de controle.

Uma vez simuladas as receitas e a malha de controle, inicia-se a programação do CLP para realizar as tarefas. Primeiramente, será regulada a malha de controle que será devidamente testada. Logo depois serão implementadas duas receitas a serem realizadas, testa-se novamente o sistema, agora em operação completa.

Depois de implementado no CLP inicia-se o desenvolvimento do programa de supervisão do sistema que passará por mais um teste. O programa de supervisão é o responsável pela interface entre o ser humano e o controlador programável do sistema, é a Interface Homem Máquina (IHM) do sistema.

Tanto a programação do CLP quanto o desenvolvimento do programa de supervisão serão efetuados com o uso dos programas da família Rockwell Software RSLogix 500 e RSView32SE.

4. Projeto em Ambiente CAD e Montagem

4.1. Descrição do Projeto

Para atender às diversas especificações apresentadas nos capítulos anteriores foi realizado um brainstorm para decidir a melhor forma de implementação do kit didático. Foram feitos os dimensionamentos preliminares tanto no aspecto mecânico e construtivo quanto no aspecto elétrico e de instrumentação.

O primeiro aspecto de instrumentação abordado foi o termopar utilizado para o monitoramento da temperatura no interior do tanque de mistura. Optou-se pela utilização de um termopar do tipo K, sua linearidade na faixa de temperatura de 20-100 graus Celsius e seu baixo preço de mercado foram fatores decisivos em sua escolha.

Para a aquisição do nível dos reagentes e produtos no interior do tanque de mistura foi utilizado um sensor do tipo ultra-sônico com alcance de 60 centímetros. Por ser um método não intrusivo de aquisição de medida foi feita a opção por esse tipo de sensor. O alcance especificado, apesar de ser acima do necessário para as dimensões do kit, é o valor mínimo de mercado.

As válvulas utilizadas são do tipo solenóide, com acionamento por tensão de 127 Vac. Válvulas como essa também são conhecidas por válvulas On-Off ou válvulas binárias pois possuem apenas dois estados de operação, aberto ou fechado. Com esse tipo de válvula não é possível a realização de um controle preciso da vazão de fluido que passa por ela, já que a válvula ou está totalmente

fechada, ou está totalmente aberta. Seu acionamento será feito diretamente através do CLP por uma das saídas digitais a relé.

O resistor utilizado é de alta de dissipação, usado para ao aquecimento de água em chuveiros elétricos. Sua potência nominal de dissipação para uma tensão de alimentação de 220 V é de 3.300 W. Optou-se por sua utilização pelo baixo custo e alta confiabilidade para aplicações submersas em líquidos.

O aspecto físico do kit está mostrado nas figuras 4.1 e 4.2 abaixo.

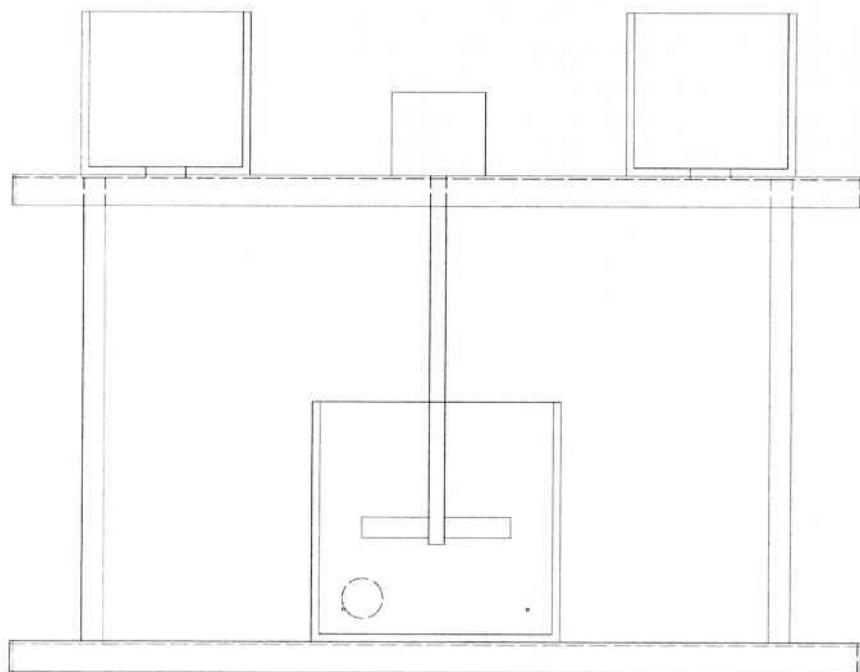


Figura 4.1 - Vista Frontal do Kit Didático- Croqui

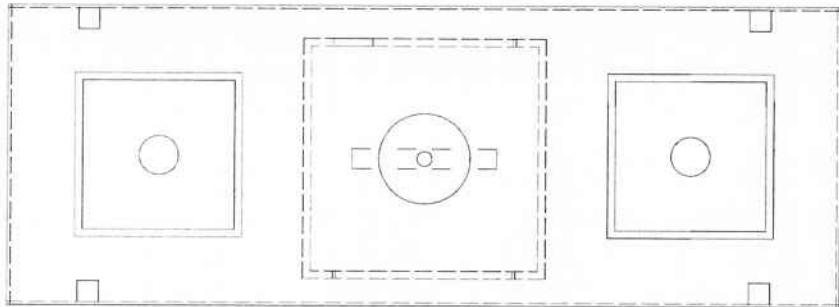


Figura 4.2 - Vista Superior do Kit Didático - Croqui

Como pode ser visto nas figuras acima, existe um desnível entre os tanques de armazenamento de ingredientes e o tanque de mistura. Esse desnível facilita o escoamento dos fluídos pela válvula e pelas mangueiras flexíveis (ambas não representadas no desenho).

Nesses desenhos já foi representado o posicionamento relativo dos tanques e também do motor do misturador.

Os furos de maior diâmetro nos fundos dos tanques de armazenamento e na lateral do tanque de mistura demarcam os locais onde serão acopladas as válvulas solenóide. Os furos de menor diâmetro na lateral do tanque de mistura mostram os locais onde será acoplado o termopar e também os dois terminais do resistor de alta dissipação.

4.2. Montagem

Em paralelo com o refinamento do projeto foi realizada a compra dos materiais e a montagem do kit, tendo como premissa as definições iniciais do projeto.

Na figura 4.3 temos algumas fotos do kit parcialmente montado.



Figura 4.3 - Fotos da Montagem do Kit

Pelas fotos da figura acima é possível ter uma visão aproximada do formato do kit e sua concordância com o croqui utilizado como ponto de partida.

As chapas utilizadas são de aço carbono com aproximadamente 2 mm de espessura. Essas chapas são capazes de suportar grandes pesos, desde que corretamente fixadas.

Essa fixação é realizada com o uso de quatro barras quadradas de latão com aresta de 15 cm. Essas barras são parafusadas tanto à chapa de cima quanto à chapa de baixo, para garantir melhor fixação.

A figura 4.4 mostra uma foto do kit já completamente montado.

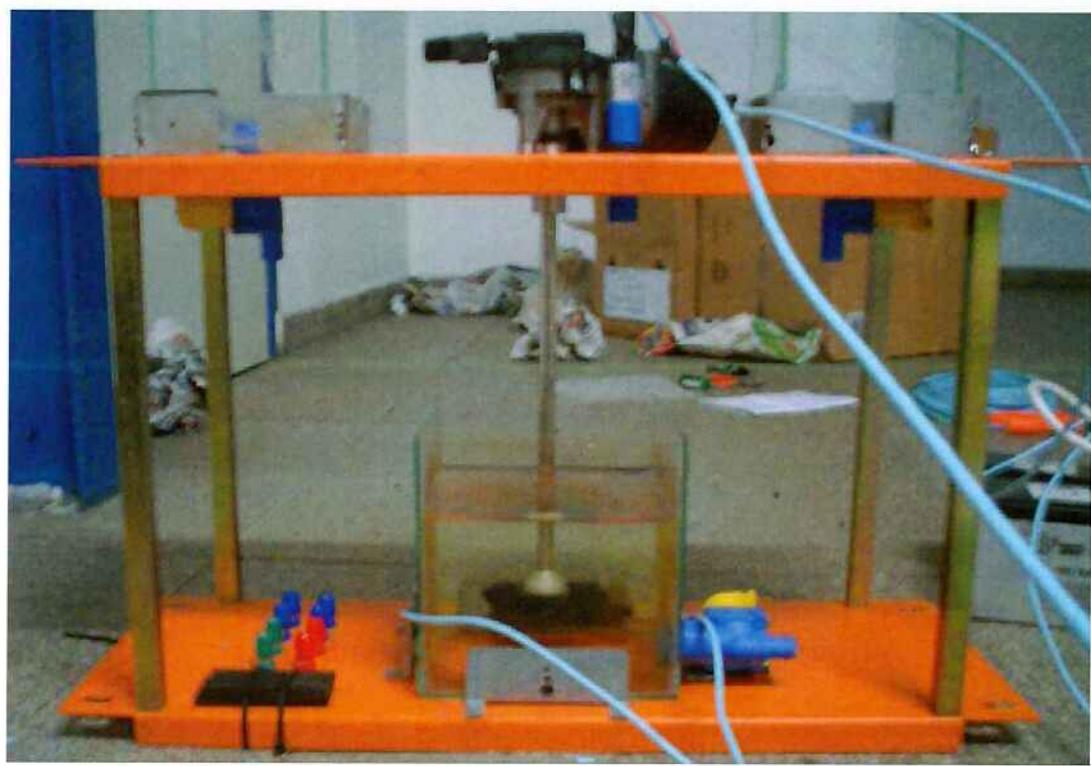


Figura 4.4 - Foto do Kit Completamente Montado

4.3. Projeto Final

Juntamente com a montagem do kit, foram realizadas modificações e especificações para suas diversas partes componentes. Os itens abaixo mostram as diferentes peças do kit, bem como suas funções.

Em todas as figuras das peças, as dimensões são em milímetros.

4.3.1. Chapa de Sustentação Inferior

A chapa ilustrada pela figura 4.5 mostra a base de sustentação do kit didático.

Em cima dessa chapa fica sustentado o tanque de mistura juntamente com seus acessórios de monitoramento e controle de temperatura. Os furos localizados em volta da região central prendem as abas que mantém o tanque imóvel no centro. Os furos próximos aos quatro vértices serão usados para fixar as barras de sustentação

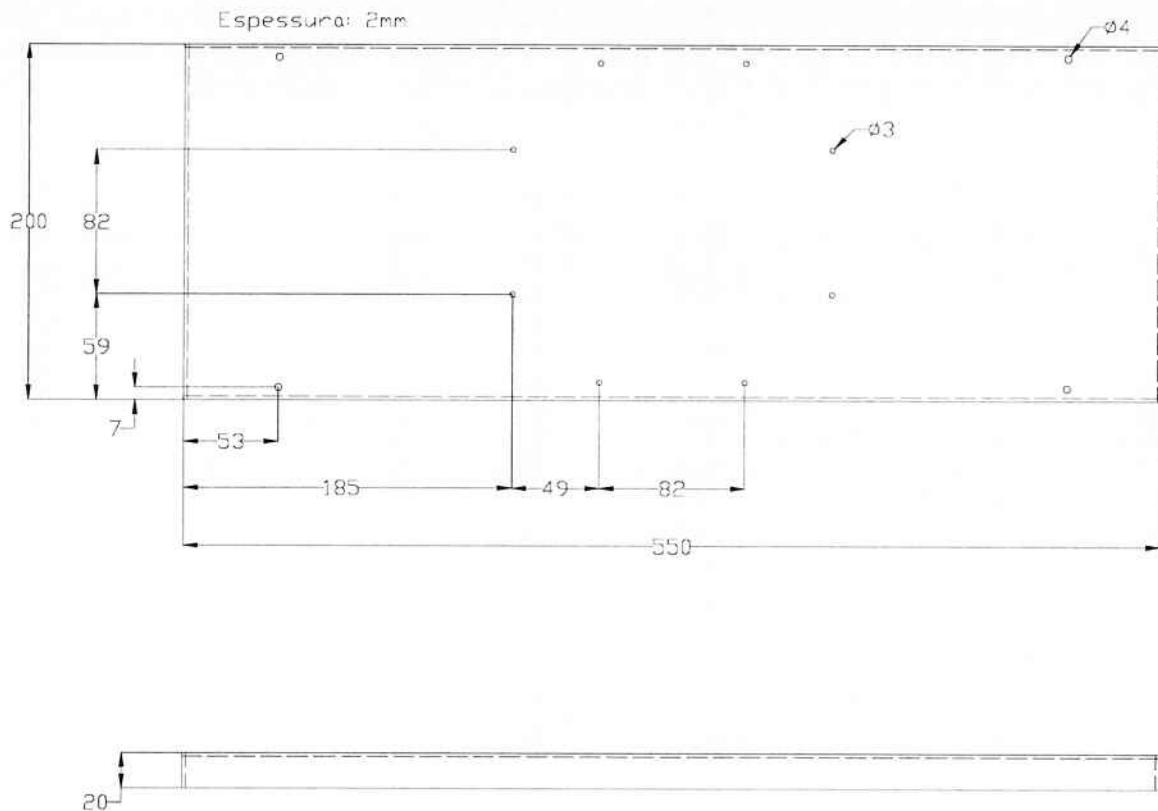


Figura 4.5 - Chapa de Sustentação Inferior - Detalhe

4.3.2. Chapa de Sustentação Superior

A chapa superior está representada na figura 4.6.

Essa chapa serve como sustentação tanto para os tanques de armazenamento de ingredientes quanto para o motor do misturador e o sensor ultra-sônico. Os furos indicados com maior diâmetro são para o acoplamento das válvulas; os furos de menor diâmetro ao redor dos furos maiores são para a fixação das abas de apoio dos tanques. Os quatro furos próximos aos vértices da chapa são usados para fixar as barras de sustentação que já foram previamente fixadas na chapa inferior.

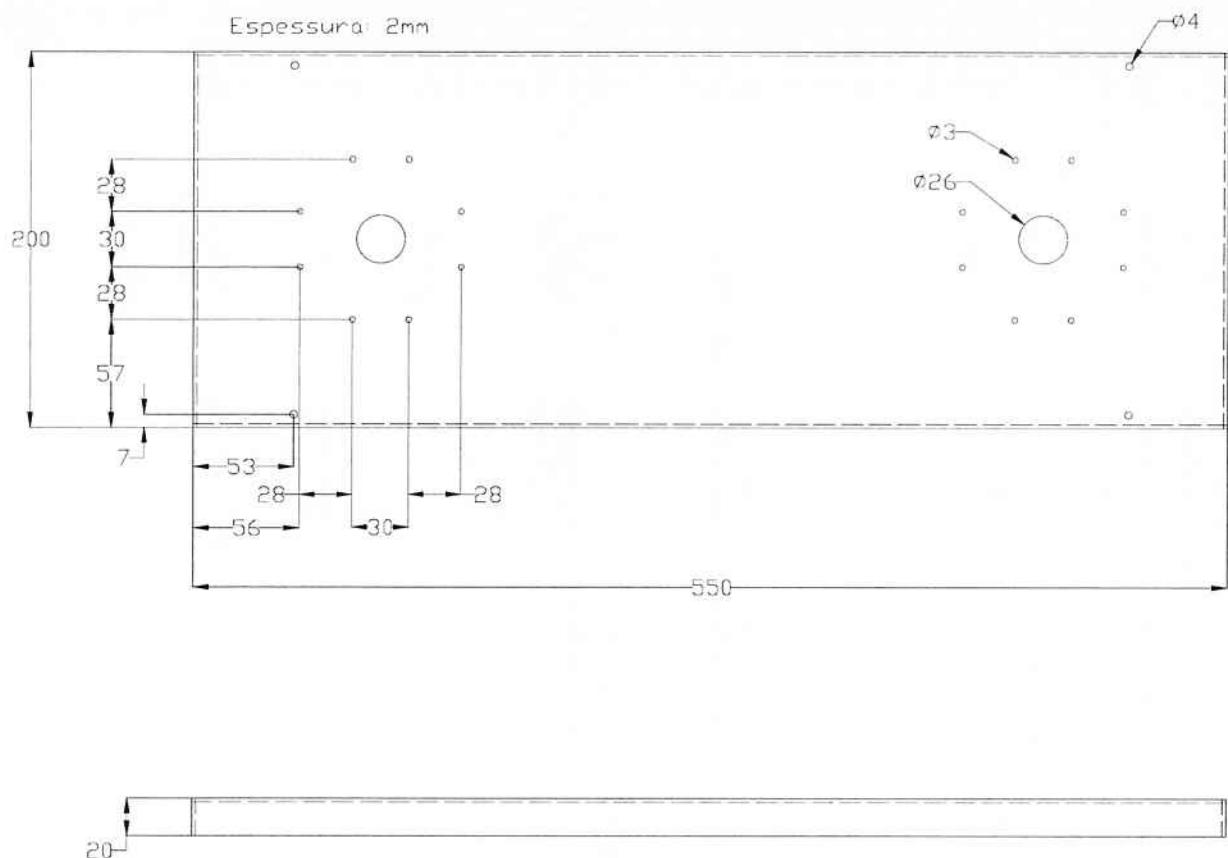


Figura 4.6 - Chapa de Sustentação Superior - Detalhe

4.3.3. Tanque de Mistura

Neste tanque ocorre a mistura e o aquecimento dos reagentes de acordo com as definições das receitas a serem realizadas.

Conforme explicado acima, este tanque fica apoiado nas abas fixadas à chapa inferior.

Para evitar o transbordamento desse tanque, está sendo feito o monitoramento do nível de fluido em seu interior pelo sensor ultra-sônico preso na chapa superior.

Ainda nesse tanque, em sua lateral estarão disponibilizados os terminais do resistor de alta dissipação e do termopar, ambos para a malha de controle de temperatura.

A válvula acoplada na lateral do tanque (furo de maior diâmetro) é responsável pelo esvaziamento deste tanque. A figura 4.7 mostra as dimensões e distâncias entre os furos do tanque de mistura.

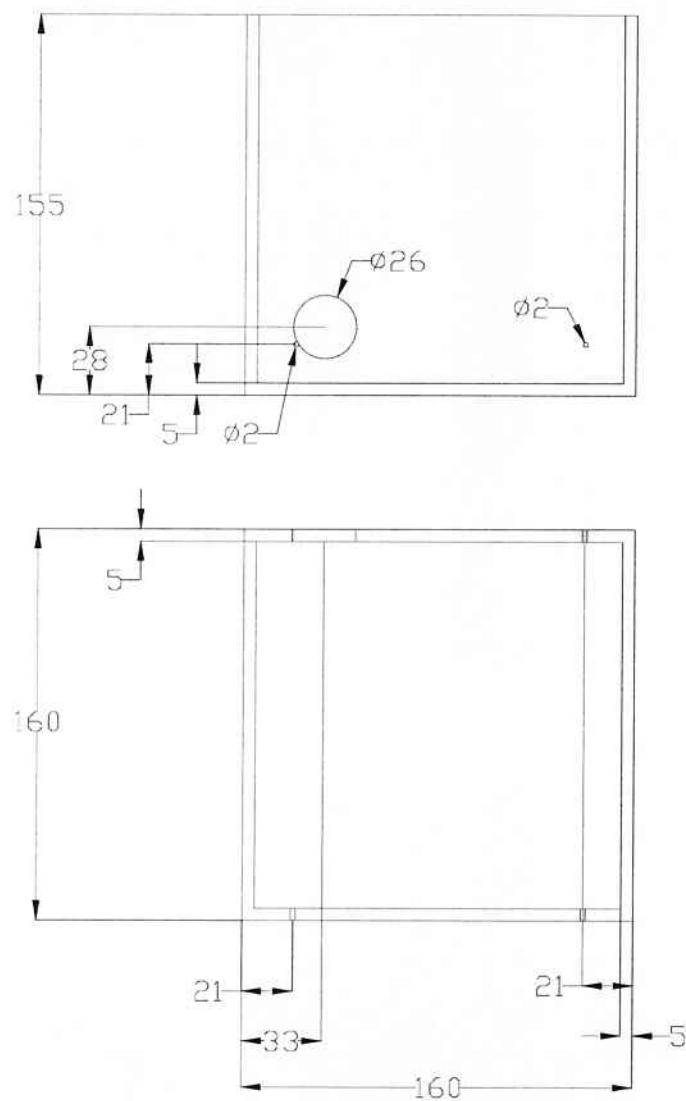


Figura 4.7 - Tanque de Mistura - Detalhe

4.3.4. Tanque de Armazenamento de Ingredientes

Os tanques de armazenamento apenas servem como depósitos para os ingredientes que participarão da reação.

Para melhorar o aproveitamento de todo o seu conteúdo, foi optado por acoplar a válvula no fundo do tanque.

Sua fixação também é feita com as abas já fixas na chapa superior. Caso seja necessário o reabastecimento dos reagentes este deve ser feito manualmente.

Abaixo, na figura 4.8, está representado o desenho de um dos tanques de armazenamento

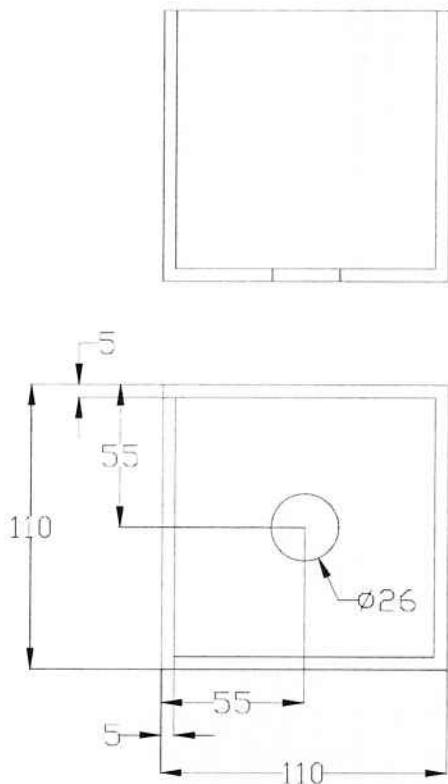


Figura 4.8 - Tanque de Armazenamento de Ingredientes - Detalhe

4.3.5. Barra de Sustentação

As barras de sustentação, num total de quatro, são responsáveis pela sustentação da chapa de sustentação superior. São presas em ambas as pontas por parafusos presos nas duas chapas de sustentação prevenindo, com isso, o deslocamento relativo entre elas.

São feitas em latão, material de baixo custo e com dureza suficiente.

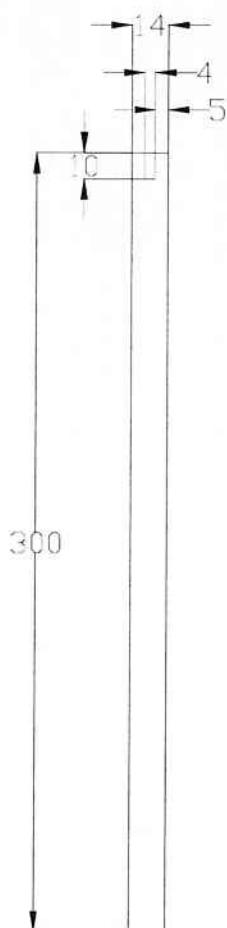


Figura 4.9 - Barra de Sustentação - Detalhe

4.3.6. Controlador Lógico Programável

O CLP a ser utilizado no processo é da família MicroLogix da Allen-Bradley.

Além da CPU com as entradas e saídas digitais já incorporadas, serão necessárias uma saída analógica para o controle da potência fornecida pelo resistor e duas entradas analógicas para a aquisição dos sinais temperatura e nível provenientes do termopar e do sensor ultra-sônico, respectivamente.

A figura 4.10 mostra o CLP utilizado no projeto. Os dois cartões de expansão são necessários para a aquisição da temperatura e do nível no tanque de mistura e para a saída de controle de tensão sobre o resistor.



Figura 4.10 - Controlador Lógico Programável

4.3.7. Conversor AC/DC

O conversor AC/DC será necessário para o controle da tensão que será fornecida ao resistor de alta dissipação. Esse conversor possui, dentre outras funcionalidades, a possibilidade de receber um sinal de tensão de referência de 0-5Vcc e fornecer em seu terminal de saída a tensão de 0 – 100Vcc. Para isso ele retifica a tensão da rede e regula a tensão de saída de acordo com o sinal de referência.

A figura 4.11 mostra uma foto do conversor utilizado.



Figura 4.11 - Conversor AC/DC

4.3.8. Sensor de Nível

O sensor de nível utilizado funciona com base na reflexão do som em alta freqüência emitido por ele causada por qualquer superfície, esse som refletido é captado pelo sensor que fornece em seus terminais uma tensão entre 0-10Vcc que representa a distância a que está a superfície refletora do som.

O sensor detecta superfícies ou objetos em uma faixa de distância entre 10-60cm de seu emissor. Os 10cm iniciais representam uma zona cega do sensor que não é capaz de identificar um objeto ou anteparo de qualquer natureza.

A figura 4.12 mostra o sensor utilizado. Tanto o sensor de nível quanto o motor de corrente contínua foram alimentados com uma bateria de chumbo-ácido selada de 24V.



Figura 4.12 – Sensor de Nível Ultra-sônico

4.3.9. Motor

O motor utilizado é um motor de corrente contínua utilizado para o acionamento de limpadores de pára-brisas em automóveis. Foi necessária uma adaptação para o acoplamento do misturador em seu eixo que está detalhada nas fotos das figuras 4.13 e 4.14 abaixo.

Conforme mencionado acima, a alimentação do motor é feita através de uma bateria de chumbo-ácido de 24V.



Figura 4.13 – Motor Acoplado ao Eixo do Misturador



Figura 4.14 – Detalhe do Eixo do Misturador

4.3.10. Válvulas Liga/Desliga

Todas as válvulas utilizadas para a restrição do fluxo de determinado ingrediente ou produto final são do tipo Liga/Desliga.

Como a principal preocupação não é quantificar exatamente a vazão de fluído que passa pelas válvulas optou-se por usar esse tipo de equipamento.

As válvulas utilizadas no projeto foram feitas especificamente para utilização em máquinas de lavar, no controle de entrada de água no cesto de roupa. São alimentadas em 127Vac com baixa necessidade de corrente.

A figura 4.15 mostra uma das válvulas utilizadas já acoplada ao tanque de mistura.



Figura 4.15 – Válvula Liga/Desliga do Tanque de Mistura

4.3.11. Termopar

O termopar utilizado é com encapsulamento do tipo bastão sem qualquer tipo de revestimento, do tipo K que possui linearidade na faixa de temperaturas prevista no projeto, 20-120 graus Celsius.

A figura 4.16 mostra uma foto do termopar utilizado.



Figura 4.16 – Termopar tipo K encapsulamento bastão sem revestimento

5. Receitas

A norma ISA S88.01 define receita como “um conjunto de informações que definem unicamente os requisitos de produção de um produto específico. Esses requisitos podem ser matéria-prima, tempo de preparo, equipamentos, pessoal, entre outros”.

Em indústrias, elas são realizadas dentro de reatores que possuem todo o tipo de monitoração para a garantia de uma remessa de produtos dentro das especificações. Esses reatores podem chegar a tamanhos muito grandes, tornando difícil o monitoramento de toda a sua superfície interna sem a utilização da automação.

As receitas abaixo descritas têm bastante destaque na indústria química atual, principalmente devido ao incentivo governamental pela busca de fontes de energia renovável e pela diminuição da poluição através da emissão de gases do efeito estufa.

Importante lembrar que as receitas abaixo são meramente exemplos de aplicação de processos industriais que podem ser simulados com o kit didático.

5.1. Produção de Biocombustível a partir de Óleos Vegetais

A busca por combustíveis alternativos e renováveis no Brasil tem suas origens na criação do Pró-Álcool em 1975, impulsionada principalmente pela alta dos preços do petróleo e derivados na crise de 1973.

Apesar de o Brasil estar atualmente com a auto-suficiência do petróleo, a preocupação é com outro aspecto dos combustíveis derivados dessa fonte, a poluição. Com as temperaturas globais subindo cada vez mais, em grande parte causada pelo

efeito estufa, a busca por combustíveis que produzam uma menor emissão de gases tóxicos na atmosfera nunca foi tão importante e foco de tantas discussões.

Nesse contexto os biocombustíveis se apresentam como uma fonte alternativa, menos poluidora e renovável.

A produção de biocombustível através de um óleo vegetal pode ser realizada no kit didático.

Ao realizar a fervura do óleo vegetal com um álcool em meio ácido é obtida a querosene desse óleo vegetal. Esse processo é conhecido por Transesterificação de Óleos Vegetais.

Para a implementação no kit, por só existirem dois tanques de armazenamento de ingredientes, será necessária a adição do ácido manualmente no tanque de mistura, convém ressaltar que em processos reais a adição dos agentes catalisadores (em nosso caso o ácido) ocorre separada dos ingredientes.

5.2. Alcoolquímica

Além dos combustíveis, outro subproduto do petróleo muito utilizado no mundo todo são os plásticos.

Para a substituição dessa fonte não-renovável, muitas pesquisas apontam no ramo da Alcoolquímica, análoga da Petroquímica. A Alcoolquímica busca a produção

de polímeros, principalmente, a partir de uma fonte renovável, no caso o etanol, álcool obtido da cana-de-açúcar.

A produção de etileno, um produto que pode ser polimerizado para a formação do polietileno (PE), um plástico com diversas aplicações atuais, pode ser realizado através da reação entre o álcool etanol e ácido sulfúrico em altas temperaturas. Essa reação produz uma mistura de Etileno e Éter-Etílico com concentração de etileno que varia entre 1 a 100% dependendo da temperatura na qual a reação ocorre.

A implementação desse processo é bastante simples, nos tanques de armazenamento de ingredientes ficam armazenados o álcool e o ácido. Inicia-se a adição do álcool e então o controle de temperatura até um valor estabelecido. Após isso se adiciona o ácido sulfúrico e mantém-se a temperatura controlada no valor especificado.

6. Programação do CLP

O CLP utilizado, por ser de pequeno porte, possibilita sua programação apenas em diagrama ladder.

O sistema de automação do kit conta apenas com saídas digitais que devem acionar cada uma das válvulas e o motor. A figura 6.1 ilustra como foi realizada a interligação entre os equipamentos e as saídas digitais do CLP.

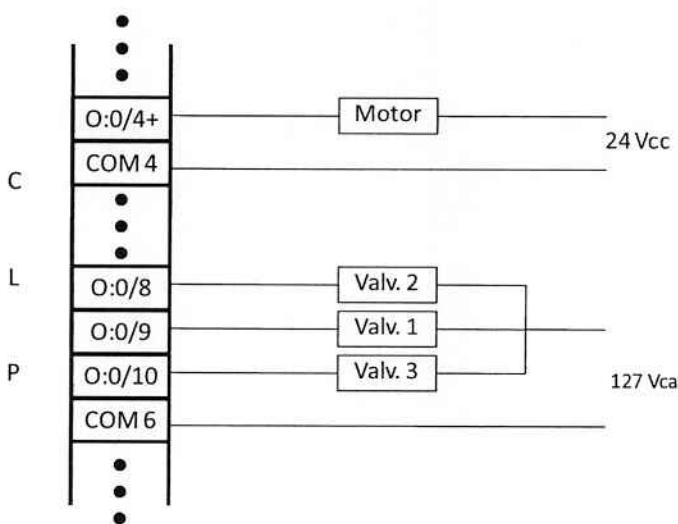


Figura 6.1 – Interligação das Saídas Digitais

As entradas analógicas do projeto são duas:

A primeira é o nível no tanque de mistura que é medido pelo sensor de ultra-som em uma faixa de 10-60cm atribuindo para essa faixa os valores de tensão em seus terminais de 0-10Vcc. Na entrada analógica do CLP esse valor de tensão será convertido em um número inteiro na faixa 0-32767. Esse valor é resultado da conversão analógico/digital realizada pelo cartão com resolução de 16 bits;

A segunda variável analógica é a temperatura medida pelo termopar no interior do tanque de mistura. A leitura desse valor de temperatura é feito com um cartão de entradas analógicas específico para termopares por possuir compensação de temperatura na entrada do cartão. O valor fornecido pelo cartão ao CLP é o valor da temperatura multiplicado por 10.

Existe ainda uma saída analógica que é utilizada para dar a tensão de referência na entrada do conversor CA/CC que fornece tensão para o resistor de alta dissipação responsável pelo aquecimento dos reagentes no tanque de mistura.

É possível resumir todos os dados acima em uma pequena tabela mostrando todas as entradas e saídas do sistema de automação. Primeiramente, é necessário conhecer a estrutura em rack do CLP utilizado que está explicada na figura 6.2.

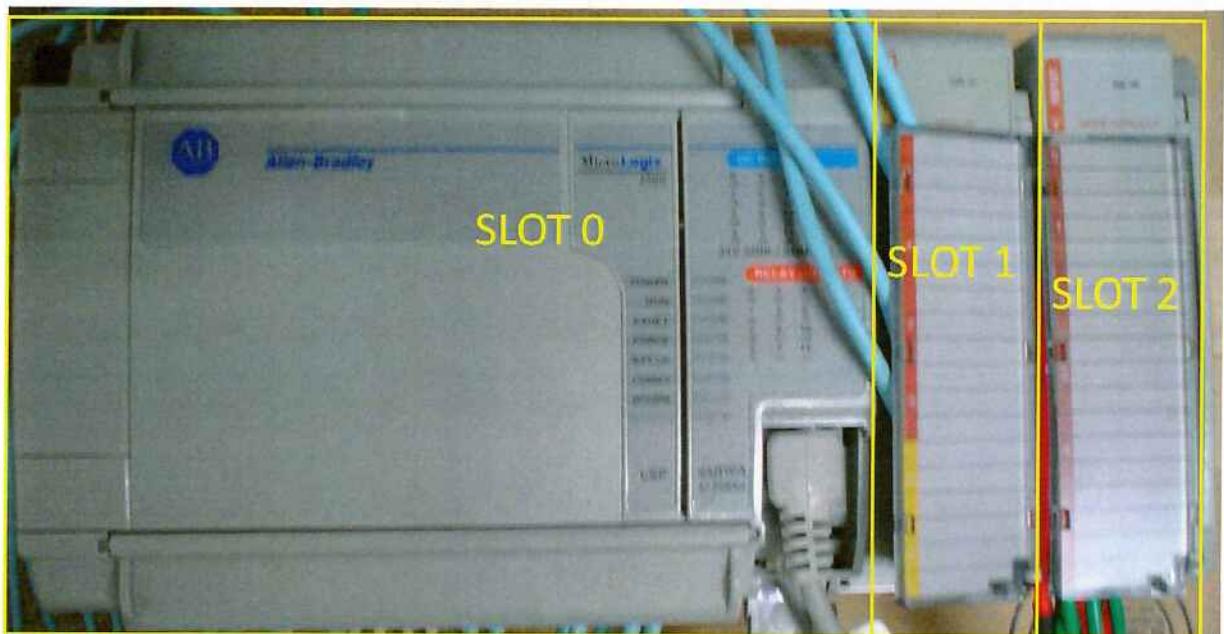


Figura 6.2 – Alocação dos racks do CLP

Na figura acima, o slot 0 do rack é a CPU em conjunto com entradas e saídas digitais, o slot 1 é o cartão misto de entradas e saídas analógicas de corrente e/ou tensão, o slot 2 é o cartão de entradas analógicas específico para termopares.

A tabela abaixo mostra as entradas e saídas do CLP com seu endereço correspondente no diagrama ladder.

Variáveis	Endereço
Temp. Tanque Mistura	I:2.5
Nível Tanque Mistura	I:1.0
Válvula 1	O:0/9
Válvula 2	O:0/8
Válvula 3	O:0/10
Motor	O:0/4
Referência Conversor	O:1.0

Tabela 6.1 – Entradas e Saídas do CLP

6.1. Malha de Controle de Temperatura

A malha de controle pode ser implementada diretamente no CLP através da instrução PID. Essa instrução necessita da entrada da variável de processo (PV), no caso a temperatura no tanque, da variável manipulada (MV), no caso a tensão de referência no conversor CA/CC, e dos valores dos ganhos K_p , T_i e T_d . O CLP então calcula o algoritmo de controle comparando o valor da PV com o valor desejado (SP) e juntamente com os ganhos disponibilizar na MV o resultado desse cálculo.

Como os ganhos do PID são dependentes das características físicas dos equipamentos e do conteúdo do tanque, para cada tipo de substância no interior do tanque deve ser realizado um novo ajuste desses parâmetros. Inicialmente foram

ajustados os valores considerando como reagente principal a água. A qualquer momento o operador pode alterar os ganhos para melhorar a resposta da malha de controle.

O ajuste da malha de controle foi realizado pelo algoritmo ITAE que se baseia na minimização da integral do erro absoluto ponderado pelo tempo, ou seja, valores de erro (diferença entre o SP e a PV) são mais toleráveis para tempos menores. Para a realização desse ajuste, foi necessária a obtenção de um modelo aproximado do sistema. Esse modelo foi levantado a partir da curva de reação a um degrau na entrada do sistema.

Aplicando o modelo encontrado empiricamente no algoritmo do método ITAE, é possível obter o valor das constantes de ganho do controlador PID. Vale ressaltar que esse primeiro ajuste apenas aproxima os valores otimizados. Ainda deve ser realizado um ajuste mais fino manualmente.

6.2. Aplicativo do CLP

O aplicativo desenvolvido para o CLP foi dividido em sub-rotinas para facilitar a compreensão dos automatismos implementados. A figura 6.3 mostra a divisão das sub-rotinas.



Figura 6.3 – Aplicativo do CLP – Divisão das Sub-rotinas

A rotina principal apenas é utilizada para chamar as demais sub-rotinas e, portanto não será detalhada. As sub-rotinas para as válvulas 1 e 2 e para o motor são muito similares e somente uma delas será detalhada. Nas sub-rotinas NIVEL e TEMPERATUR estão implementadas as leituras dos valores analógicos e sua conversão para unidades de engenharia, além disso existem diversos sinalizadores para os intertravamentos do processo. A sub-rotina SEQUENCIA é a responsável pela execução da receita exemplificada. Constitui-se basicamente de uma máquina de estados.

6.2.1. Sub-rotina VALVULA1

É a responsável pelo acionamento da saída digital correspondente à válvula 1. Para este e os demais equipamentos existem dois modos possíveis de operação, o modo automático e o modo manual. Em modo manual, apenas o operador pode operar

a válvula através dos comandos de Liga e Desliga. O comando de Liga consiste em um pulso de 0 para 1 na variável digital correspondente, o comando de Desliga consiste em um pulso de 1 para 0 na sua variável digital. Em modo automático, o acionamento da válvula acontece mediante a ordem de execução na máquina de estados da sub-rotina SEQUENCIA. A figura 6.4 mostra o diagrama ladder do automatismo da válvula 1.

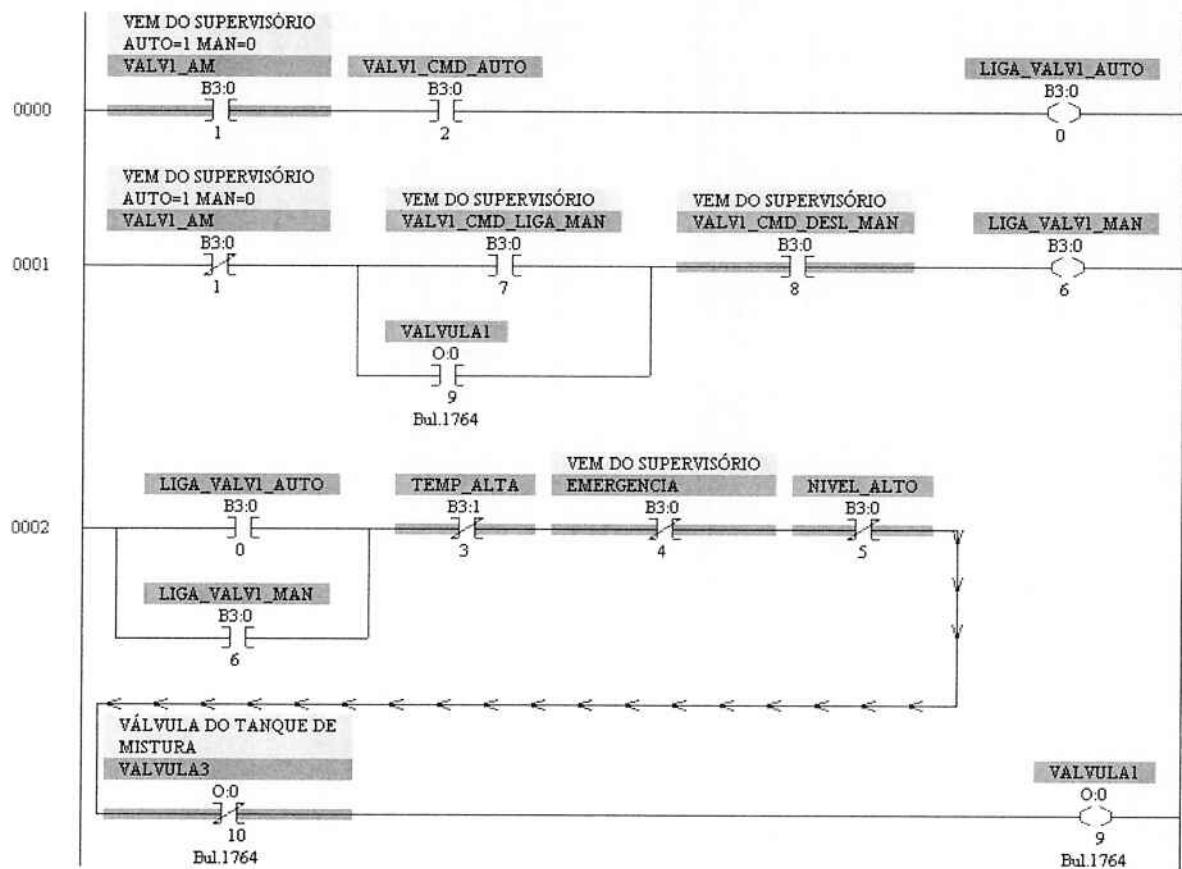


Figura 6.4 – Diagrama Ladder Válvula 1

A linha 0000 é responsável pelo acionamento em modo automático dado pela máquina de estados da receita. A linha 0001 é responsável pelo acionamento em modo manual através dos comandos de liga (VALV1_CMD_LIGA_MAN) e desliga

(VALV1_CMD_DESL_MAN). A linha 0002 mostra todos os intertravamentos que impedem o funcionamento da válvula como temperatura ou nível alto no tanque de mistura, o sinal de parada de emergência ou a válvula 3 acionada.

6.2.2. Sub-rotina VALVULA3

Apresenta funcionamento similar à válvula 1, no entanto, só possui acionamento manual, e não possui intertravamentos. A figura 6.5 mostra o diagrama ladder da válvula 3

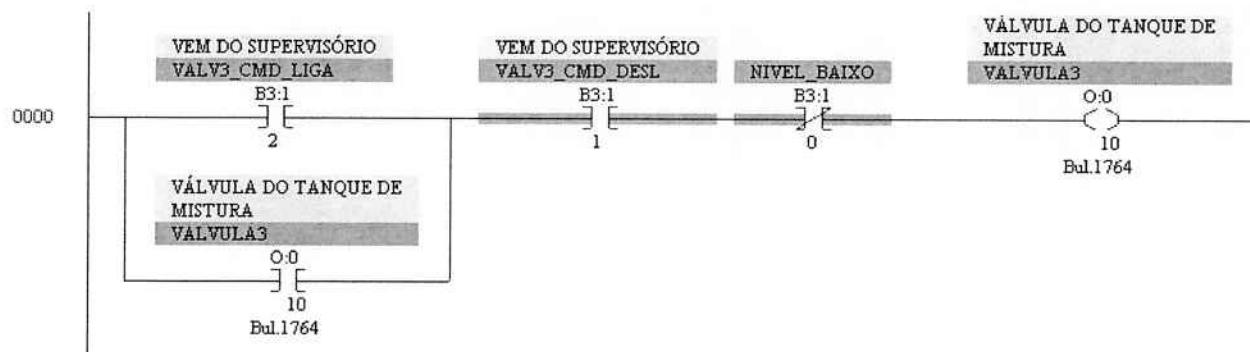


Figura 6.5 – Diagrama Ladder Válvula 3

6.2.3. Sub-rotina NIVEL

Pode ser dividida em duas partes principais: condicionamento do sinal analógico e sinalização para intertravamentos.

A primeira parte é responsável pela conversão do sinal obtido diretamente do conversor A/D do cartão analógico em unidades de engenharia. Está mostrada na figura 6.6.

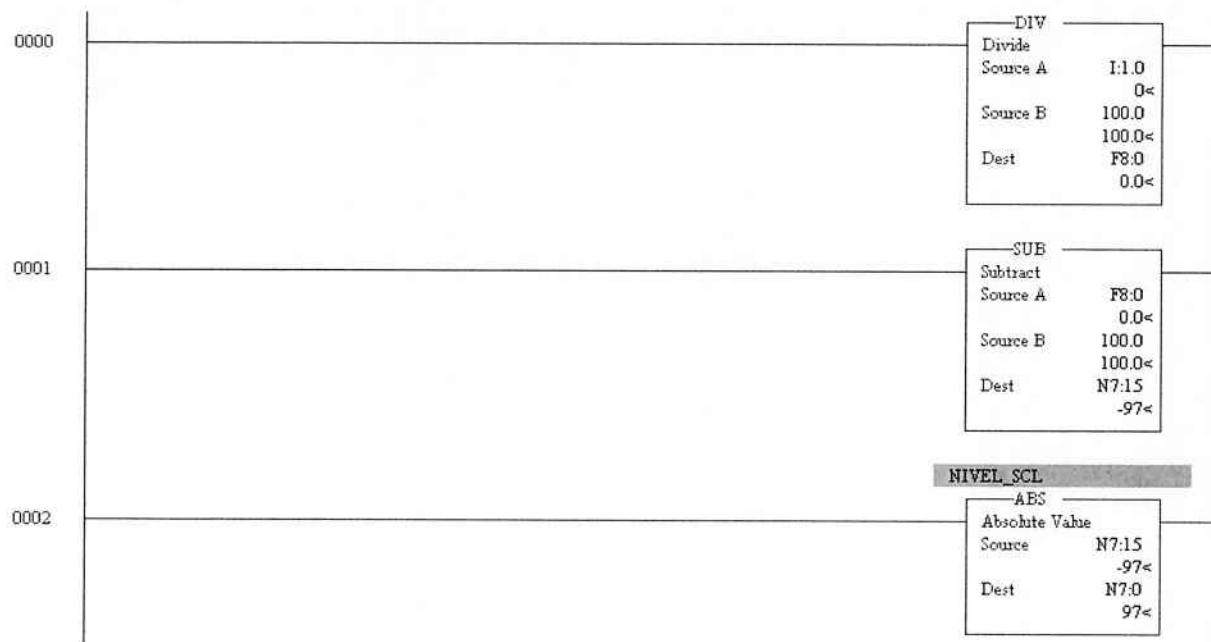


Figura 6.6 – Diagrama Ladder Nível – Condicionamento do Sinal

A segunda parte compara o valor já convertido para unidade de engenharia e de acordo com limites pré-estabelecidos e sinaliza possíveis intertravamentos para esses limites. As sinalizações implementadas são Nível Alto e Baixo no tanque de mistura. Nível de reagente 1 OK e nível de reagente 2 OK. A figura 6.7 mostra o diagrama ladder desenvolvido.

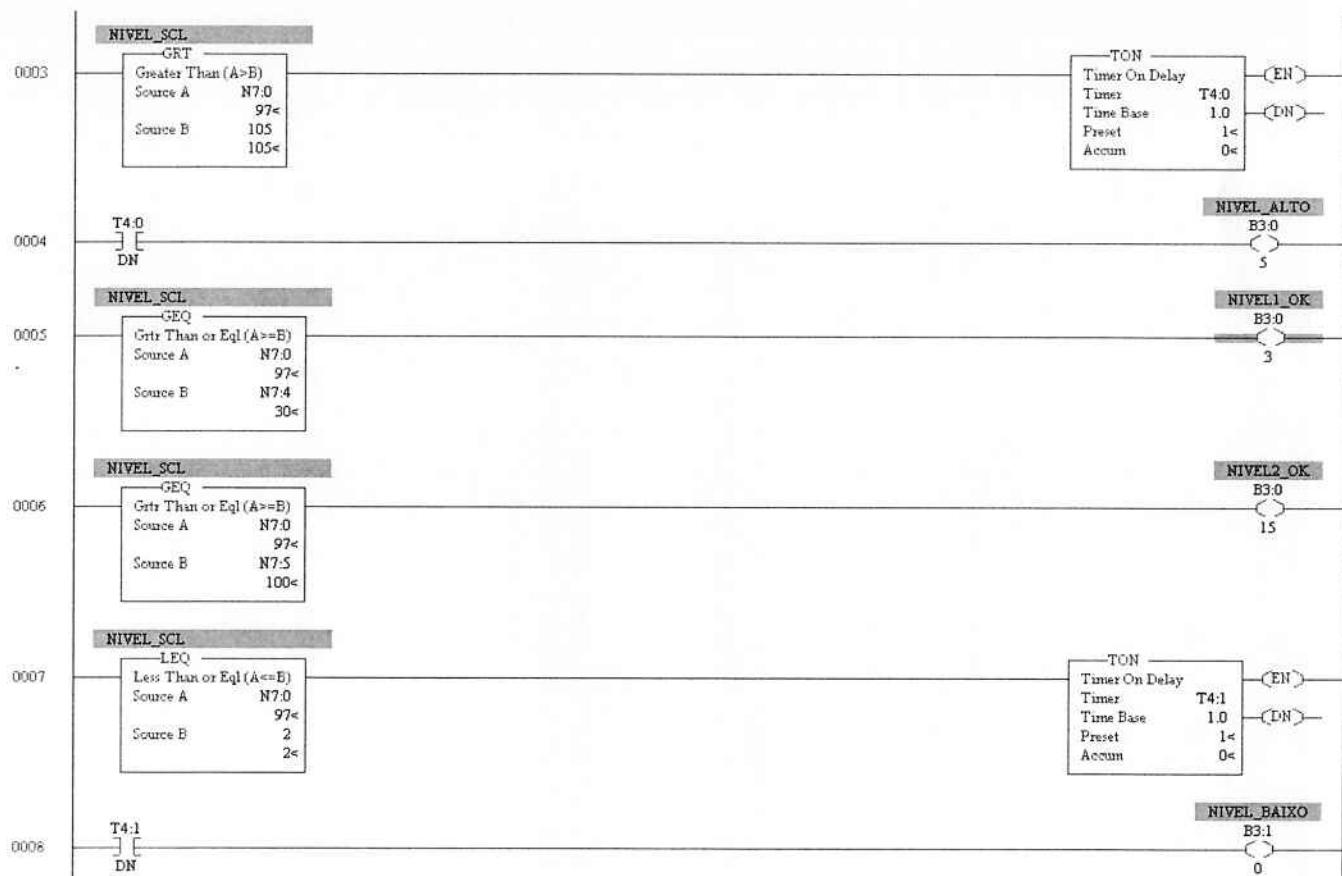


Figura 6.7 – Diagrama Ladder Nível – Sinalização de Eventos

6.2.4. Sub-rotina TEMPERATUR

Essa rotina pode ser dividida em três partes. As duas primeiras são similares às encontradas na sub-rotina NIVEL e não serão novamente repetidas. A terceira parte diz respeito à malha de controle implementada através da função PID. A figura 6.8 ilustra o diagrama dessa parte da sub-rotina.

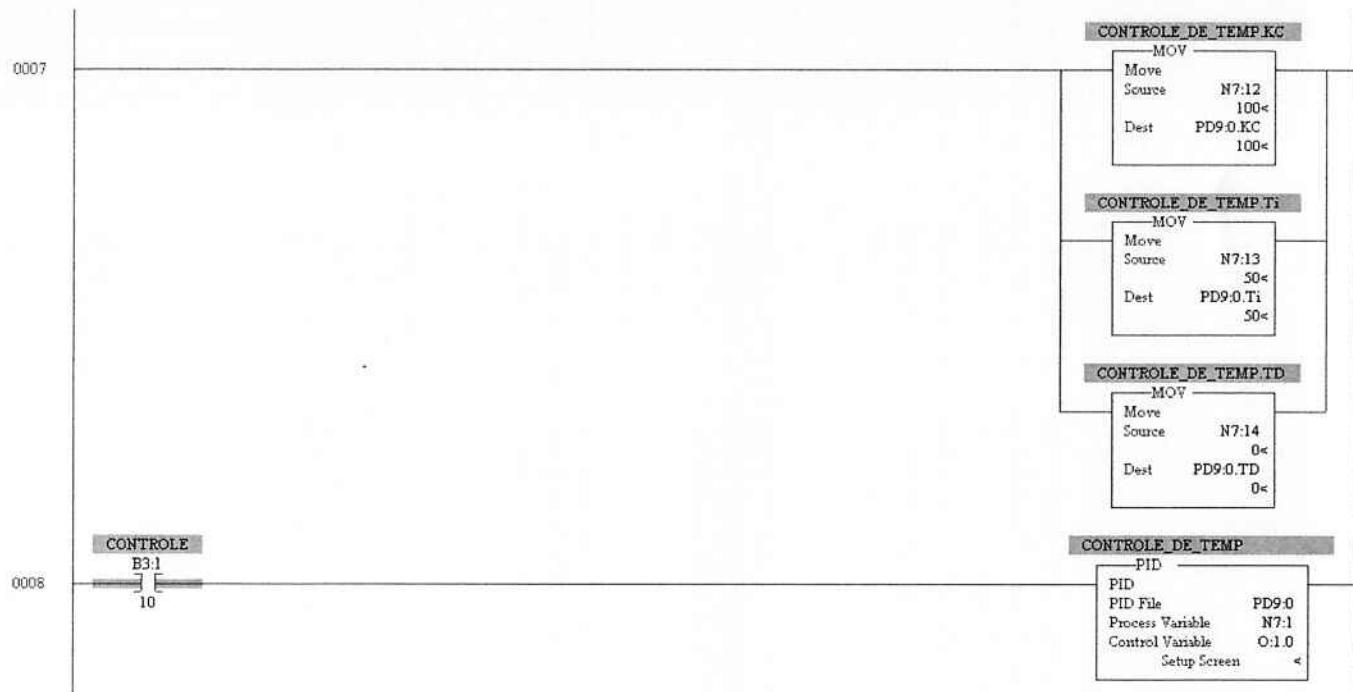


Figura 6.8 – Diagrama Ladder Temperatur – Malha de Controle

A linha 0007 move o valor das constantes K_p (ou K_c), T_i e T_d para o bloco PID.

Esses valores de constante podem ser dados pelo operador ou pré-programados para seleção. A linha 0008 é responsável pelo bloco PID, caso o bit Controle esteja com valor 1, o bloco PID calculará a MV a partir dos ganhos e do SP e de PV.

6.2.5. Sub-rotina SEQUENCIA

É a rotina responsável pela execução de uma receita genérica. Primeiramente deve liberar o ingrediente 1 para encher o tanque de mistura até um nível determinado. Em seguida deve fechar a válvula 1 e liberar o ingrediente 2 também até um nível determinado. Terminada essa etapa, inicia-se o controle de temperatura no valor

desejado e a mistura por um determinado tempo após a temperatura atingir o valor desejado.

Os parâmetros da receita são inseridos no supervisório e comunicados automaticamente ao CLP que deve armazenar esses dados e utilizá-los conforme a necessidade. Os dados são: nível em % da substância 1, nível em % da substância 2, tempo em segundos de mistura após o valor de temperatura ser atingido e temperatura desejada para a mistura.

A figura 6.9 mostra a aquisição desses dados pelo CLP.

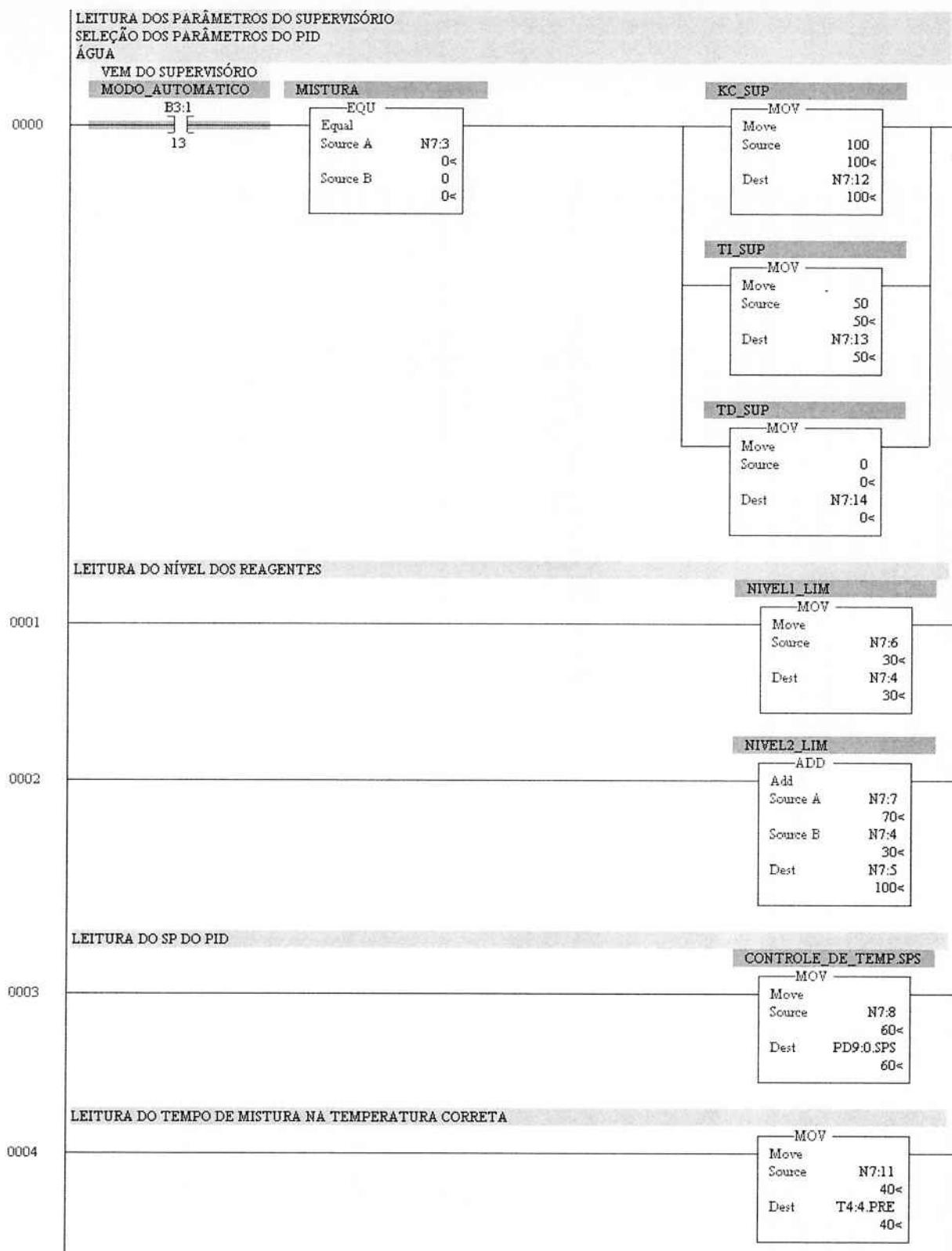
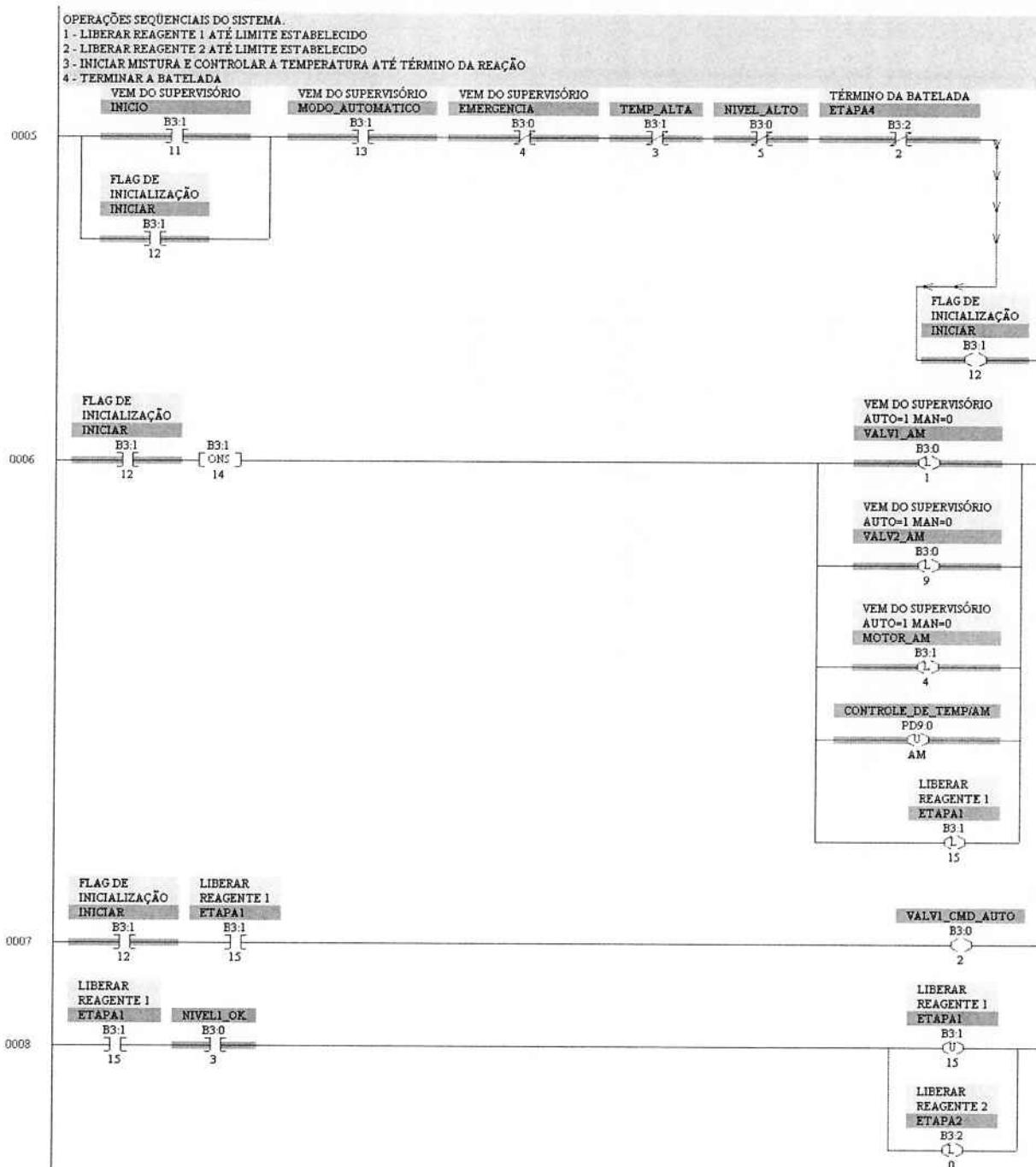


Figura 6.9 – Diagrama Ladder Seqüência – Aquisição de Dados

A receita é realizada pela máquina de estados da figura 6.10.



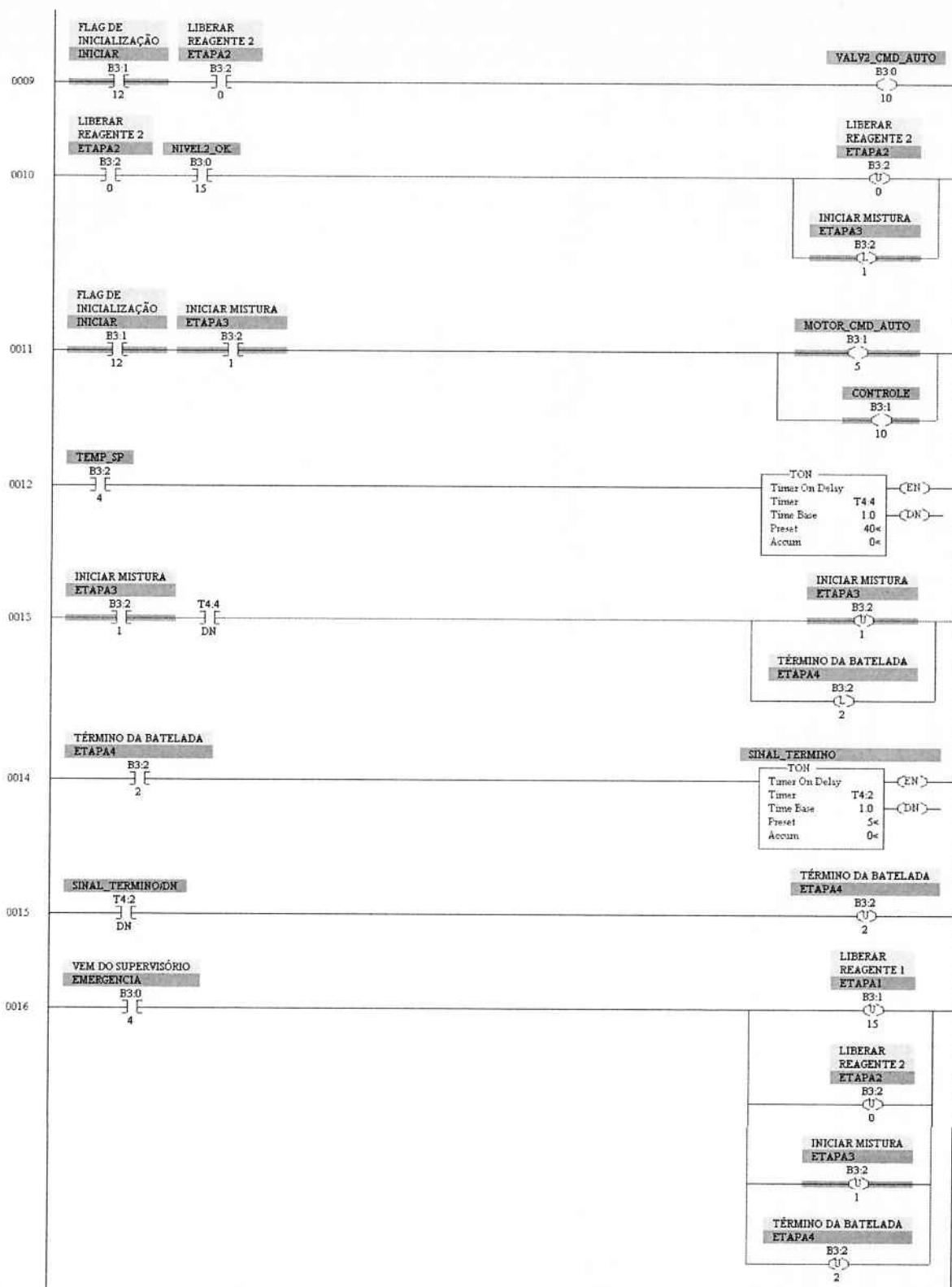


Figura 6.10 – Diagrama Ladder Seqüência – Máquina de Estados

Cada batelada foi dividida em 4 etapas principais. O comando de início de cada batelada é dado pelo supervisório que, caso não haja nenhum intertravamento, colocará todos os equipamentos em automático e iniciará a execução da receita com os parâmetros inseridos. A transição de cada uma das etapas ocorre desativando a etapa anterior e com isso são realizadas receitas individuais sem sobreposição de comandos. Em caso de emergência a máquina retorna para o estado inicial, cabe ao operador proceder com o descarte do conteúdo do tanque de mistura se for necessário.

Para sinalizar o final de cada batelada existe a etapa 4 que também desabilita o flag de inicialização e retorna a máquina de estados para o estado inicial.

7. Sistema Supervisório

O sistema supervisório do projeto consiste em um conjunto de duas telas e quatro pop-up's típicas.

Todas as telas foram desenvolvidas para visualização na resolução 1024x768 pixels. Ao utilizar o sistema garantir que o monitor esteja com essa opção selecionada. Resoluções diferentes das apresentadas acima podem causar distorções ou falhas de visualização no sistema.

A tela inicial consiste em uma tela título com o símbolo da Escola Politécnica da USP e o nome do projeto e do aluno, informações de data e hora, o acesso à tela principal do sistema é feito ao se clicar sobre o símbolo da Poli. A figura 7.1 ilustra essa tela.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS



KIT DIDÁTICO PARA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS A BATELADA

DAVID PINHEIRO ANDRÉ JUNIOR

Figura 7.1 – Tela Inicial do Sistema de Supervisão

Clicando no botão correspondente na tela inicial se tem acesso à tela principal do sistema, nesta tela estão representados todos os equipamentos do kit didático com a indicação do estado de funcionamento de cada um deles através do código de cores: vermelho – ligado, verde – desligado. A tela principal está reproduzida na figura 7.2.

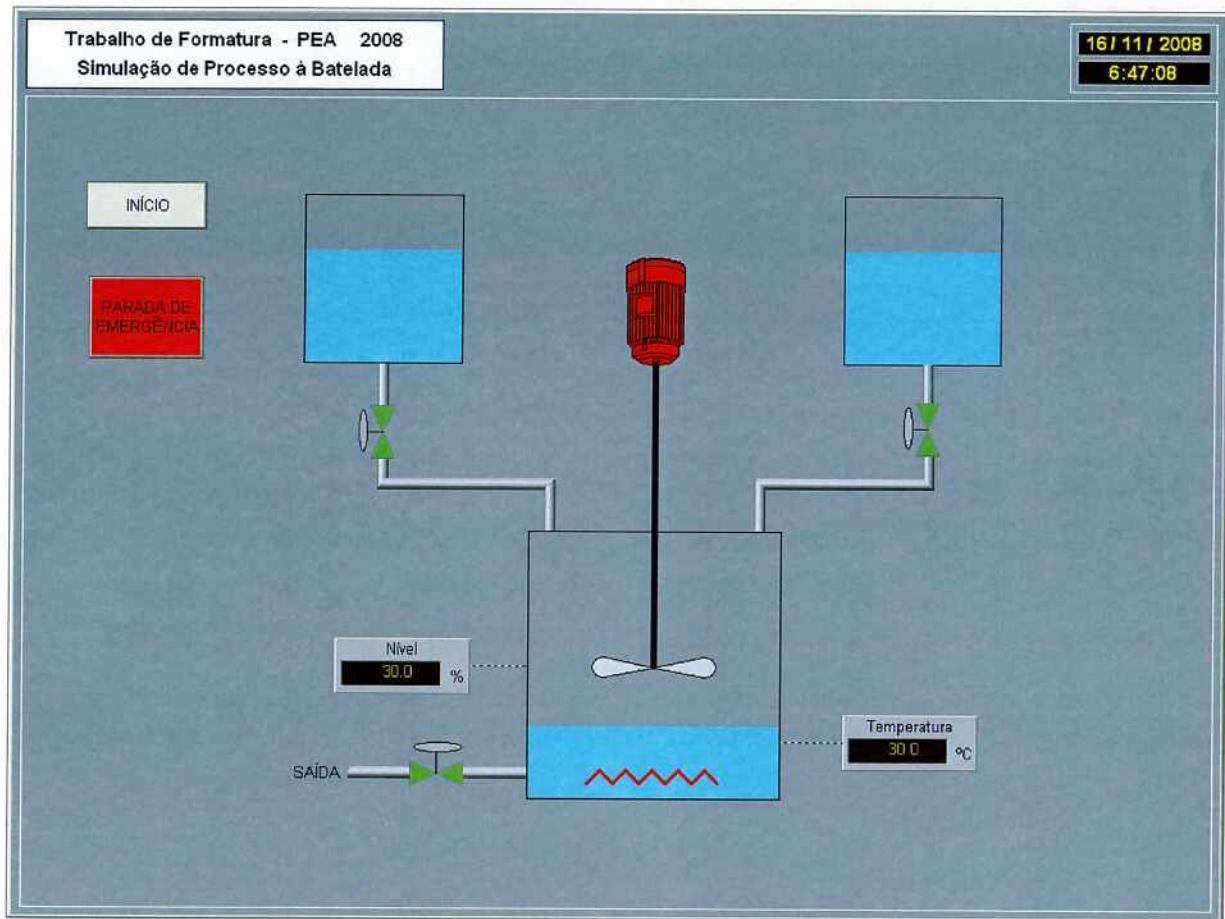


Figura 7.2 – Tela Principal do Sistema de Supervisão

Ao se clicar sobre qualquer um dos equipamentos uma pop-up daquele equipamento irá aparecer mostrando o estado atual de ligado ou desligado e de modo de operação em automático ou em manual. Além da indicação desses estados, a pop-up disponibiliza o comando para alterar o modo de operação de automático para manual ou vice-versa. Em modo automático a única opção disponível na pop-up é a de troca do modo de operação; em modo manual, aparecerão dois botões com os comandos de Liga e Desliga do equipamento que podem ser selecionados pelo operador de acordo com a necessidade. A única exceção é a da válvula 3 que não conta com um modo de operação automático, nesse caso, a pop-up terá o mesmo

formato da pop-up padrão para válvulas mas não possibilitará a troca para o modo de operação automático. As figuras 7.3 e 7.4 mostram exemplos das pop-up's utilizadas.



Figura 7.3 – Pop-Up de Equipamentos – Motor



Figura 7.4 – Pop-Up de Equipamentos - Válvula

Ao clicar sobre a resistência, aparecerá a pop-up com os parâmetros e estados de operação da malha de controle PID de temperatura. Nessa pop-up estão disponíveis os valores das variáveis importantes para o controle: Temperatura no interior do tanque (PV - Variável de Processo), Valor desejado da temperatura no interior do tanque (SP - Set-Point) e Valor de saída do algoritmo PID (MV - Variável Manipulada) e o modo de controle (automático ou manual). Em modo automático o algoritmo PID do CLP com os valores de PV, SP, Kp, Ti e Td calcula a saída do controle MV que dará a tensão de referência para o conversor AC/DC; em modo manual, fica disponibilizado ao operador entrar com o valor de MV que ele desejar, não importando o valor do cálculo do algoritmo de controle. A figura 7.5 mostra a pop-up de controle.

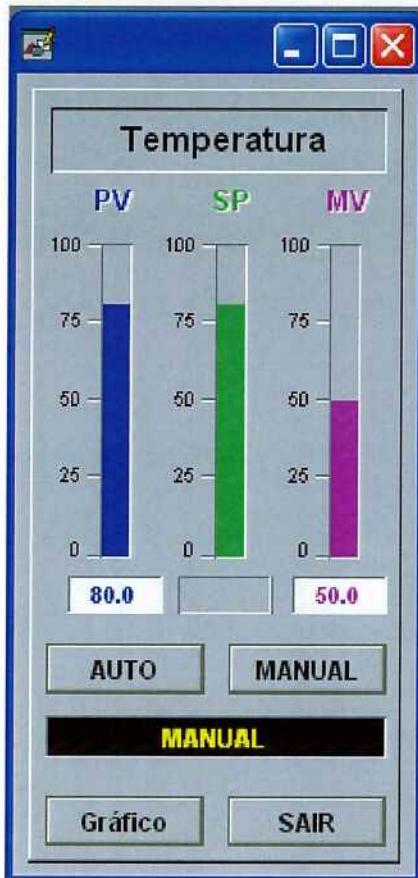


Figura 7.5 – Pop-Up de Controle PID

No canto inferior esquerdo da pop-up está localizado o botão “Gráfico”, clicando nesse botão ocorrerá o aparecimento de outra pop-up com o gráfico no tempo das variáveis PV, SP e MV, cada uma com uma cor de pena característica. Esse recurso foi utilizado no levantamento do modelo aproximado pela curva de resposta ao degrau na entrada do sistema de controle, conforme visto na seção 6.1. Além disso, também estão disponíveis os campos para a entrada dos valores dos ganhos do controlador PID. A figura 7.6 mostra a pop-up do gráfico do PID.

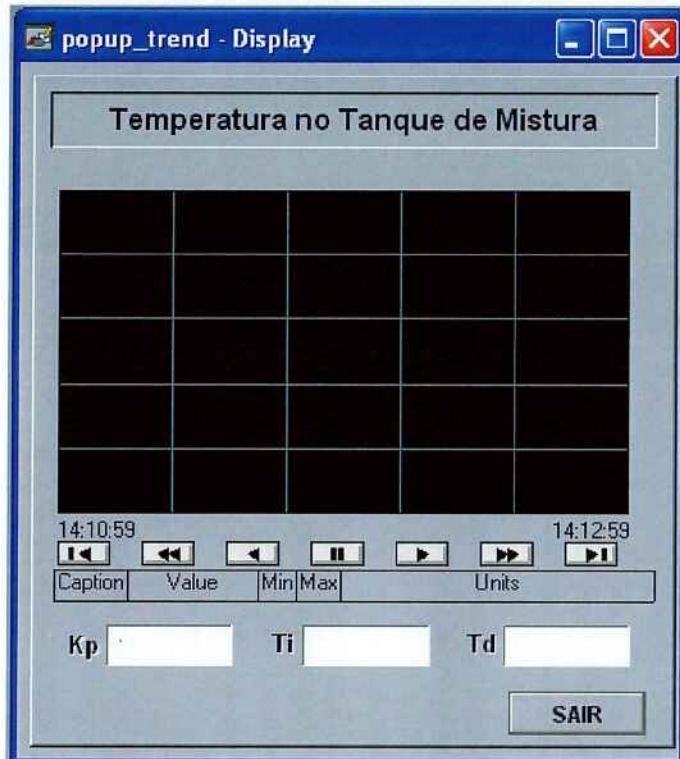


Figura 7.6 – Pop-Up do Gráfico do Controle PID

Na tela principal ainda estão disponíveis os botões Iniciar e Parada de Emergência. O segundo botão interrompe a batelada independentemente do estado no qual ela se encontra, cabe ao operador tomar as providências necessárias para a limpeza e descarga do material no tanque de mistura.

Ao clicar no botão Iniciar aparecerá uma pop-up com os campos onde devem ser digitados os valores e parâmetros da batelada que irá começar. Primeiramente o operador escolhe a forma de operação, caso escolha automático a batelada ocorrerá de acordo com a máquina de estados implementada no CLP com base nos parâmetros digitados nessa pop-up; caso escolha manual, os equipamentos serão acionados de acordo com ordens específicas do operador através das pop-up's de controle e dos

equipamentos. Os demais valores que devem ser inseridos para a batelada automática são: Relação de mistura entre os ingredientes 1 e 2 (dadas em porcentagem), temperatura de operação e tempo de mistura após ser atingida a temperatura de operação. Com esses parâmetros escolhidos, ao se clicar no botão início da pop-up o sistema começará a operar de acordo com o modo de operação selecionado e os parâmetros escolhidos.

A figura 7.7 ilustra a pop-up de inicialização do processo.

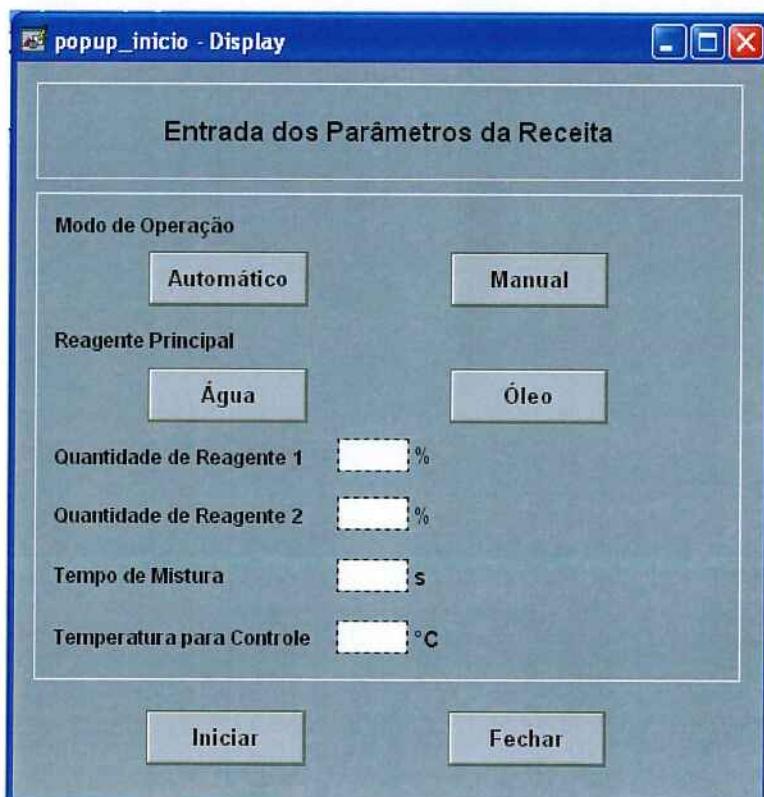


Figura 7.7 – Pop-Up de Inicialização do Processo a Batelada

8. Considerações Finais

O desenvolvimento do kit proporcionou uma interação entre o aluno e as diversas etapas no andamento de um projeto, desde o dimensionamento até a implementação física e os testes de operação.

Os objetivos propostos no início desse trabalho foram totalmente atingidos no que diz respeito ao dimensionamento e construção do kit bem como à implementação de um automatismo para sua utilização.

Apesar de não estar no escopo desse trabalho a análise do potencial didático do kit, este se mostrou extremamente eficiente e capaz de mostrar a quem o utiliza os diversos problemas e desafios encontrados em um projeto de automação. A utilização do sistema de supervisão facilita ainda mais a operação do kit e ilustra como acontece a operação real de uma planta industrial.

Para uma simulação ainda melhor de uma planta real, é necessário programar o CLP e o supervisório tendo em vista os conceitos abordados pela norma ISA S88 específica para batelada. Outra melhoria é possível com a utilização de um CLP de maior porte que possibilite a programação em outras linguagens além da linguagem ladder.

Os equipamentos utilizados para a construção do protótipo são de baixo custo e foram adaptados às necessidades do protótipo, no entanto, algumas melhorias podem ser feitas, principalmente no dimensionamento das válvulas e do resistor de alta dissipação utilizado.

9. Bibliografia

Moraes, C C, Castrucci, P L. (2007). *Engenharia de Automação Industrial*, LTC Editora, São Paulo.

Garcia, C (2005). Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos, 2^a Edição, Editora EDUSP, São Paulo

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Biocombust%C3%ADvel>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3prio%C3%A1lcool>

<http://www.biodieselcooleo.com.br/biodiesel/estudos/biocombustivel%20alternativo.htm>