



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO

**Sistema de Automação e Supervisão de
um Sistema Anti-Heeling para Navios de
Carga**

Autor do Projeto

Victor Dantas Barreto do Amaral

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
AGOSTO / 2010

**Sistema de Automação e Supervisão de um Sistema Anti-Heeling para Navios de
Carga**

Victor Dantas Barreto do Amaral

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

Prof. Marcos Vicente de Brito Moreria, D.Sc.
(Orientador)

Prof^a. Lilian Kawakami Carvalho, M.Sc.

Prof. Oumar Diene, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
AGOSTO DE 2010

Resumo

O processo de carregamento e descarregamento de um navio de carga é realizado com o auxílio de guindastes, esteiras rolantes e etc., e para o funcionamento destes equipamentos auxiliares, a inclinação da embarcação deve estar dentro de um limite pré-estabelecido. O sistema *Anti-Heeling* (AH) tem como função detectar o ângulo de inclinação de uma embarcação e automaticamente rebalancear a mesma quando este ângulo supera um valor pré-estabelecido bombeando água do tanque Bombordo (BB) *Anti-Heeling* para o tanque Boreste (BE) *Anti-Heeling* e vice-versa. Desta forma o processo de carregamento e descarregamento é realizado de forma mais eficiente, evitando que os mesmos sejam interrompidos por motivos de desbalanceamento da embarcação o que levaria a parada dos equipamentos auxiliares e conseqüentemente a parada do processo de carregamento ou descarregamento. Para encher e esvaziar estes tanques do Sistema *Anti-Heeling* e outros tanques de água salgada, chamados de tanques de lastro, é necessário um Sistema de Lastro. Este sistema atua sobre um conjunto de válvulas e uma bomba d'água de forma a permitir um caminho mecânico para a água entrar e sair dos tanques.

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um programa em *ladder* que faça o controle automático de um Sistema *Anti-Heeling*, controlando as válvulas e bomba d'água deste sistema através de um CLP, e construir um sistema de supervisão para este sistema de forma a se obter uma interface homem máquina (IHM) em que é possível visualizar o estado e controlar os equipamentos que fazem parte do sistema.

A modelagem do sistema *Anti-Heeling* foi feita utilizando-se Redes de Petri Interpretadas para Controle e o programa *ladder* foi desenvolvido baseado neste modelo.

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Teoria de Sistemas a Eventos Discretos (SED).....	5
2.1	Sistemas a eventos discretos.....	5
2.1.1	O conceito de evento.....	5
2.1.2	Propriedades do sistema a eventos discretos.....	5
2.2	Redes de Petri.....	6
2.2.1	Fundamentos teóricos.....	6
2.2.2	Definição de um grafo de uma rede de Petri.....	6
2.2.3	Redes de Petri marcadas.....	7
2.2.4	Dinâmica das redes de Petri.....	8
2.3	Rede de Petri Interpretada para Controle.....	9
2.3.1	Rede de Petri sincronizada.....	9
2.3.2	Arco inibidor e arco habilitador.....	10
2.3.3	Rede de Petri Interpretada para Controle.....	11
2.4	Conclusões.....	13
3	Descrição do funcionamento do Sistema Anti-Heeling.....	14
3.1	Sistema <i>Anti-Heeling</i>	14
3.1.1	Descrição.....	14
3.1.2	Equipamentos.....	15
3.1.3	Funcionamento Manual do Sistema <i>Anti-Heeling</i>	18
3.1.4	Funcionamento Automático do Sistema <i>Anti-Heeling</i>	18
3.2	Sistema de Lastro.....	21
3.2.1	Descrição.....	21
3.2.2	Equipamentos.....	22
3.2.3	Bomba de Lastro.....	22
3.2.4	Funcionamento.....	23
3.2.5	Enchendo um tanque.....	23
3.2.6	Esvaziando um tanque.....	23
3.3	Conclusões.....	24
4	Rede de Petri interpretada para controle do Sistema Anti-Heeling e programa <i>ladder</i> ..	25
4.1	Rede de Petri interpretada para controle do sistema <i>Anti-Heeling</i>	25

4.2	Elementos do programa <i>Ladder</i>	32
4.3	Método de conversão de RPIC para <i>Ladder</i>	35
4.3.1	Módulo de inicialização.....	35
4.3.2	Módulo das condições para o disparo das transições	35
4.3.3	Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle.....	36
4.3.4	Módulo das ações	36
4.4	Programa <i>Ladder</i> RPIC Figura 11	36
4.4.1	Módulo de inicialização.....	36
4.4.2	Módulo das condições para o disparo das transições	37
4.4.3	Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle.....	37
4.4.4	Módulo das ações	37
4.5	Conclusões.....	38
5	Construção do sistema de supervisão	39
5.1	Descrição da animação do Sistema de supervisão	39
5.1.1	Sistema Anti-Heeling	39
5.1.2	Sistema de Lastro	43
5.2	<i>Tag database</i>	43
5.2.1	Tipos de <i>tags</i>	44
5.2.2	Fonte de dados.....	44
5.3	O <i>Tag Database Editor</i>	44
5.4	Configurando uma <i>tag</i>	46
5.4.1	Configurando uma <i>tag</i> do tipo <i>Analog</i>	46
5.4.2	Configurando uma <i>tag</i> do tipo <i>Digital</i>	48
5.5	Construção das telas gráficas	50
5.5.1	Telas gráficas e objetos gráficos.....	50
5.5.2	O editor de tela gráfica.....	50
5.5.3	Configurando uma tela gráfica.....	51
5.5.4	Bibliotecas gráficas.....	52
5.6	Animação dos objetos gráficos	53
5.6.1	Configurando a animação de um botão.....	55
5.6.2	Configurando a animação de cor (<i>color animation</i>)	59
5.6.3	Configurando a animação de preenchimento (<i>fill animation</i>).....	62
5.6.4	Configurando a animação de toque (<i>touch animation</i>).....	66
5.6.5	Rótulo (<i>Label</i>)	68

5.7	Conclusões	69
6	Funcionamento Do Sistema de Supervisão	70
6.1	Sistema Anti-Heeling.....	70
6.1.1	Funcionamento Manual	70
6.1.2	Funcionamento Automático.....	72
6.2	Sistema de Lastro.....	74
6.3	Conclusões	76
7	Conclusão	77
8	Bibliografia	78
9	Apêndice A	79

Índice de Figuras

Figura 1: Estrutura topológica da automação de um processo.....	1
Figura 2: Rede de Petri do exemplo 2.2.....	7
Figura 3: Rede de Petri marcada	8
Figura 4: Estado inicial da rede de Petri.....	8
Figura 5: Estado da rede de Petri após o disparo de t_1	8
Figura 6: Rede de Petri com conflito estrutural, porém determinística.	10
Figura 7: Rede de Petri sincronizada	10
Figura 8: Rede de Petri com arco inibidor	11
Figura 9: Rede de Petri com arco habilitador	11
Figura 10: Exemplo rede de Petri interpretada para controle	12
Figura 11: Rede de Petri interpretada pra controle	12
Figura 12: Planta de um Sistema <i>Anti-Heeling</i>	14
Figura 13: Acionamento de um motor através de uma contatora	15
Figura 14: Lógica de funcionamento do processo de fechamento da válvula.....	16
Figura 15: Lógica de funcionamento do processo de abertura da válvula	17
Figura 16: Planta do Sistema de Lastro	21
Figura 17: Sensor de Pressão	22
Figura 18: Rede de Petri Interpretada para controle do sistema <i>Anti-Heeling</i>	27
Figura 19: Matriz de Incidência de entrada da RPIC do sistema Anti-Heeling.....	31
Figura 20: Matriz de incidência da RPIC do sistema Anti-Heeling.....	32
Figura 21: Contato normalmente aberto.....	32
Figura 22: Contato normalmente fechado.....	33
Figura 23: Bobina.	33
Figura 24: Bobina latch.....	33
Figura 25: Bobina unlatch.....	33
Figura 26: Contato OSR.	33

Figura 27: Temporizador <i>Timer On Delay</i>	34
Figura 28: Comparador maior ou igual.....	34
Figura 29: Comparador menor ou igual.....	34
Figura 30: Módulo de inicialização para a RPIC da figura 11	37
Figura 31: Módulo das condições para o disparo das transições para a RPIC da figura 11 .	37
Figura 32: Módulo da dinâmica da RPIC da figura 11	37
Figura 33: Módulo das ações para a RPIC da figura 11	38
Figura 34: Objeto utilizada para representar uma válvula	39
Figura 35: Objeto utilizado para representar a bomba de água.....	40
Figura 36: Objeto utilizado para representar um tanque	40
Figura 37: Objeto utilizado para a indicação de nível alto e nível baixo dos tanques	41
Figura 38: Objeto utilizado para indicar a inclinação do navio.....	41
Figura 39: Indicação de inclinação maior que 2,5 e 5,0 graus	41
Figura 40: Botão de seleção do modo de operação Automático/Manual no modo Auto.....	42
Figura 41: Botão de seleção do modo de operação Automático/Manual no modo Manual ..	42
Figura 42: Botão utilizado para abrir a tela do sistema de lastro	42
Figura 43: Tela para operação manual das válvulas	42
Figura 44: Tela para operação manual da bomba <i>Anti-Heeling</i>	43
Figura 45: Abrindo o <i>Tag Database Editor</i>	45
Figura 46: Tela do <i>Tag Database Editor</i>	45
Figura 47: Configuração de uma <i>tag</i> analógica.....	48
Figura 48: Configuração de uma <i>tag digital</i>	49
Figura 49: Criando uma nova tela gráfica	50
Figura 50: Principais componentes de uma tela gráfica	51
Figura 51: Aba <i>Properties</i> do <i>Display Settings</i>	51
Figura 52: Aba <i>Behavior</i> do <i>Display Settings</i>	52
Figura 53: Abrindo a biblioteca <i>Valves</i>	52
Figura 54: Biblioteca <i>Valves</i>	53

Figura 55: Tela de configuração de uma animação	53
Figura 56: Tela <i>expression</i>	54
Figura 57: Tela com a lista das <i>tags</i>	54
Figura 58: Passo 1 da configuração da animação de um botão	56
Figura 59: Passo 2 da configuração da animação de um botão	56
Figura 60: Passo 3 da configuração da animação de um botão	57
Figura 61: Passo 4 da configuração da animação de um botão	58
Figura 62: Passo 5 da configuração da animação de um botão	58
Figura 63: Passos 1 e 2 da configuração da animação de cor	59
Figura 64: Tela da configuração da animação na aba color (cor).....	60
Figura 65: Tela de animação na aba color (cor) com a caixa de cores aberta	61
Figura 66: Telas com a configuração para cada limiar (A até D).....	62
Figura 67: Passo 1 e 2 da configuração da animação de de preenchimento (<i>fill</i>)	63
Figura 68: Tela de configuração da animação na aba <i>Fill</i> (preenchimento).	63
Figura 69: Tela com a configuração da animação de cor para o valor da <i>tag</i> entre 0 e 15... 64	
Figura 70: Tela com a configuração da animação de cor para o valor da <i>tag</i> entre 15 e 95. 65	
Figura 71: Tela com a configuração da animação de cor para o valor da <i>tag</i> acima de 95 .. 66	
Figura 72: Passo 1 e 2 da configuração da animação de toque (<i>touch</i>)	67
Figura 73: Tela de animação na aba <i>Touch</i> (toque).....	67
Figura 74: Ícone <i>Label</i> na barra de ferramentas	68
Figura 75: Tela de configuração de um <i>label</i>	68
Figura 76: Tela do sistema de supervisão do Sistema <i>Anti-Heeling</i>	70
Figura 77: Tela de operação da válvula AH01, com a válvula fechada	71
Figura 78: Tela de operação da válvula AH01, com a válvula aberta.....	71
Figura 79: Tela de operação da Bomba AH, com a Bomba AH desligada	72
Figura 80: Tela de operação da Bomba AH, com a Bomba AH ligada	72
Figura 81: Funcionamento do sistema no modo automático, compensando uma inclinação para BB.....	73

Figura 82: Funcionamento do sistema no modo automático, compensando uma inclinação para BE.....	73
Figura 83: Tela do sistema de supervisão do sistema de lastro	74
Figura 84: Tela do sistema de supervisão durante a operação para encher o tanque Número 1	75
Figura 85: Tela do sistema de supervisão durante a operação para esvaziar o tanque Número 3.....	75

Índice de Tabelas

Tabela 1: Lista das Receptividades associadas às transições da RPIC do Sistema Anti-Heeling	30
Tabela 2: Tabela com as ações/estado associados aos lugares da RPIC do Sistema Anti-Heeling.	31
Tabela 3: Operadores Aritméticos.....	54
Tabela 4: Operadores lógicos.	55
Tabela 5: Ações associadas a um botão.....	57
Tabela 6: Animação das cores em função dos valores das <i>tags</i>	59
Tabela 7: Resultado da expressão e o respectivo estado da válvula e as cores da animação.	60
Tabela 8: Resumo da configuração da animação de cor para cada limiar.	62

Lista de Abreviaturas

CLP – Controlador Lógico Programável

CP - Controlador Programável

SCADA - *Supervisory Control And Data Acquisition*

SED - Sistema a Eventos Discretos

RPIC - Redes de Petri Interpretada para Controle

BB – Bombordo (lado esquerdo do navio, quando se está olhando para a proa (frente) do navio)

BE – Boreste (lado direito do navio, quando se está olhando para a proa (frente) do navio)

AH – *Anti-Heeling*

SDVC - sistemas dinâmicos de variáveis contínuas

IHM – Interface Homem Máquina

BBA – Bomba

TON – Temporizador *Timer On Delay*

GEQ – Comparador maior ou igual

LEQ – Comparador menor ou igual

Capítulo 1: Introdução

A tecnologia que utiliza sistemas mecânicos, eletromecânicos e computacionais para operar no controle de processos pode ser definida, no contexto industrial, como automação [4]. Os principais motivos que levam as empresas a automatizarem os seus processos são:

- Redução de custos de pessoal devido à substituição por máquinas;
- Aumento da qualidade dos produtos devido à precisão das máquinas;
- Redução de produtos em estoque devido ao aumento da produtividade;
- Redução de perdas de produtos; e
- Diminuição no tempo de fabricação.

Os processos automatizados utilizam técnicas que permitem, através do uso de controladores e algoritmos de controle, armazenar suas informações, calcular o valor desejado para as informações armazenadas e, se necessário, tomar alguma ação corretiva. Este tipo de comportamento representa o funcionamento de um sistema realimentado ou em malha fechada. A estrutura topológica que representa a distribuição dos principais elementos envolvidos na automação de um processo industrial pode ser observada na Figura 1.

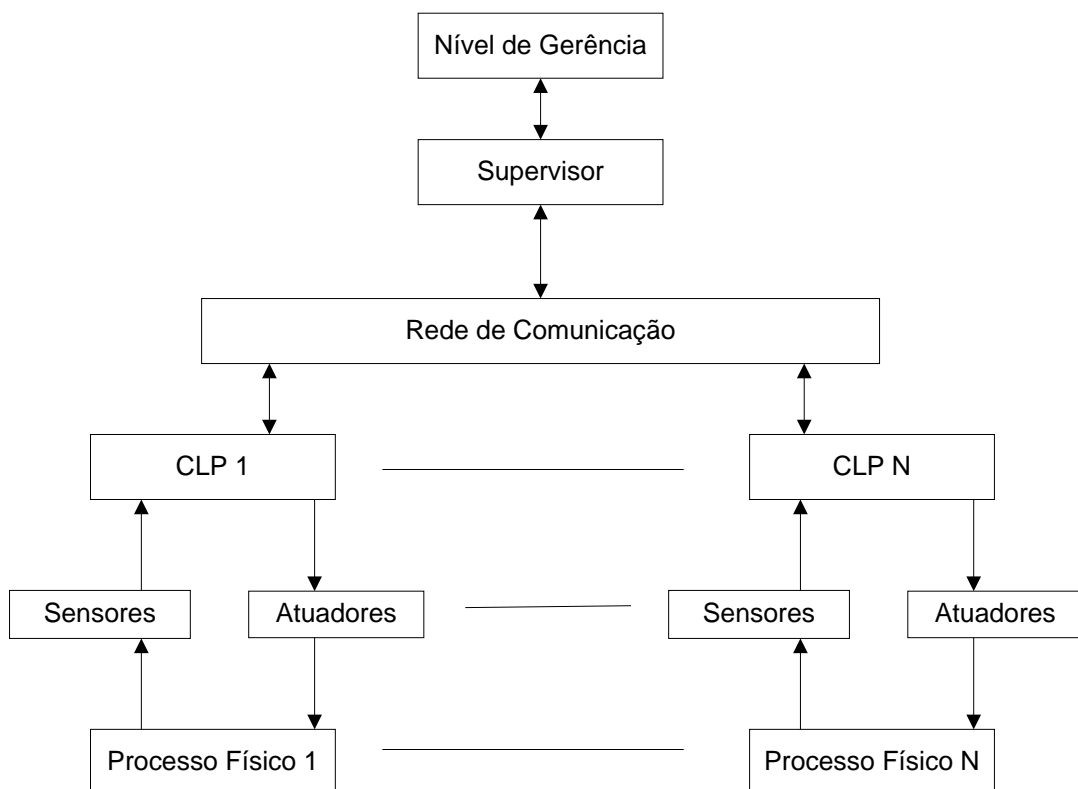


Figura 1: Estrutura topológica da automação de um processo

Um *hardware* de controle como um Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo *digital* que usa memória programável para armazenar instruções que implementam funções lógicas como: sequenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas, para controlar diversos tipos de máquinas e processos [4]. A forma mais usual de programação é oriunda da lógica de programação dos diagramas elétricos a relés. O seu funcionamento se dá através de uma rotina cíclica de operação operando somente com variáveis digitais, o que o caracteriza como um controlador discreto. As principais vantagens apresentadas pelo CLP são:

- Interfaces de operação e programação facilitadas ao usuário;
- Instruções de aritmética e manipulação de dados poderosas;
- Recursos de comunicação em redes de CLPs;
- Confiabilidade; e
- Flexibilidade.

Os sistemas de supervisão devem ser capazes de processar as informações do processo e torná-las disponíveis para o operador do processo ou qualquer outro usuário do *software* de supervisão. Podem também realizar atividades de controle em nível de supervisão e, automaticamente, com o auxílio de algum mecanismo específico aplicado ao sistema computacional, tomar decisões e executar ações sobre o processo. Os sistemas de supervisão de processos industriais são também conhecidos como *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA). Os primeiros sistemas SCADA, basicamente telemétricos, permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial monitorando apenas sinais representativos de medidas e estados de dispositivos através de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse qualquer interface com a possibilidade de atuação do operador. Com a evolução da tecnologia, os computadores passaram a ter um papel importante na supervisão dos sistemas, coletando e tornando disponíveis os dados do processo. O acesso remoto aos dados facilita tanto o monitoramento quanto o controle do processo, fornecendo, em tempo real, o estado atual do sistema através de gráficos, previsões ou relatórios, viabilizando tomadas de decisões, seja automaticamente ou por iniciativa do operador. Os sistemas de supervisão têm se mostrado de fundamental importância na estrutura de gestão das empresas, fato pelo qual deixaram de ser vistos como meras ferramentas operacionais, ou de engenharia, e passaram a ser vistos como uma relevante fonte de informação. Os sistemas de supervisão de processos industriais automatizados desempenham três atividades básicas:

- Supervisão;
- Operação; e

- Controle.

Na supervisão, incluem-se todas as funções de monitoramento do processo tais como gráficos de tendências de variáveis analógicas ou digitais, relatórios em impressora, dentre outras. A operação nos atuais sistemas SCADA tem a grande vantagem de substituir as funções da mesa de controle, otimizando os procedimentos de ligar e desligar equipamentos ou seqüência de equipamentos, ou ainda mudar o modo de operação dos equipamentos de controle. No controle supervísório os algoritmos de controle são executados numa unidade de processamento autônomo (CLP). Um sistema de supervisão caracteriza-se por:

- Fazer a aquisição de dados do processo;
- Tornar os dados disponíveis visualmente;
- Processar eventos e ativar alarmes; e
- Ser tolerante a falhas do operador

A modelagem de um Sistema a Eventos Discretos (SED) tem como objetivo desenvolver um modelo apropriado que descreva adequadamente o comportamento do sistema e proporcione uma estrutura que atenda aos objetivos de projeto, controle e análise de desempenho. Neste trabalho será apresentada, como forma de se representar um controlador de um SED, a Rede de Petri Interpretada para Controle (RPIC). No entanto existem outras formas de representação de SED's, como os autômatos, que não serão tratadas neste trabalho.

A utilização de sistemas de supervisão e automação em navios garante maior grau de segurança na operação dos sistemas, pois cada vez mais os operadores interferem menos nos processos, além de possibilitar a visualização do estado da planta de um sistema na tela de um computador através do sistema de supervisão. Além disso, através de um sistema de supervisão também é possível atuar sobre o sistema de forma manual, modificando o seu estado sem a necessidade do operador ter que se deslocar até um determinado equipamento para fazer isso.

O processo de carregamento e descarregamento de um navio de carga é realizado com o auxílio de guindastes, esteiras rolantes e etc., e para o funcionamento destes equipamentos auxiliares, a inclinação da embarcação deve estar dentro de um limite pré-estabelecido. O sistema *Anti-Heeling* (AH) tem como função detectar o ângulo de inclinação de uma embarcação e automaticamente rebalancear a mesma quando este ângulo supera um valor pré-estabelecido bombeando água do tanque Bombordo (BB) *Anti-Heeling* para o tanque Boreste (BE) *Anti-Heeling* e vice-versa. Desta forma o processo de carregamento e

descarregamento é realizado de forma mais eficiente, evitando que os mesmos sejam interrompidos por motivos de desbalanceamento da embarcação o que levaria a parada dos equipamentos auxiliares e conseqüentemente a parada do processo de carregamento ou descarregamento. Para encher e esvaziar estes tanques do Sistema *Anti-Heeling* e outros tanques de água salgada, chamados de tanques de lastro, é necessário um Sistema de Lastro. Este sistema atua sobre um conjunto de válvulas e uma bomba d'água de forma a permitir um caminho mecânico para a água entrar e sair dos tanques.

O objetivo deste trabalho é desenvolver para um Sistema *Anti-Heeling*:

- Um modelo em Rede de Petri Interpretada para Controle para a automação do Sistema *Anti-Heeling*;
- Um programa em *ladder* para controle e automação do sistema e implementar o mesmo em um CLP; e
- Um sistema de supervisão.

Para atingir tais objetivos foram utilizados as seguintes ferramentas e equipamentos:

- RSLogix, programa utilizado para desenvolver o programa em *ladder*;
- RSView, programa utilizado para desenvolver o sistema de supervisão;
- RSlinx [6], programa utilizado para associar as variáveis do programa *ladder* com as *tags* do sistema de supervisão;
- Emulador *RSLogix 500 Emulate*, utilizado para representar o CLP durante o desenvolvimento do trabalho; e
- Um PC onde foi desenvolvido o sistema de supervisão.

Este documento está organizado em sete capítulos. O capítulo 2 expõe a teoria de sistemas a eventos discretos, as características de Rede de Petri e definição de Redes de Petri Interpretadas para Controle. No capítulo 3 é apresentado o funcionamento do sistema *Anti-Heeling* e uma breve explicação do funcionamento do Sistema de Lastro. O capítulo 4 trata da modelagem do sistema *Anti-Heeling*, descrito no capítulo três, em Rede de Petri Interpretada para Controle bem como o desenvolvimento do programa *ladder* baseado na Rede de Petri Interpretada para Controle obtida. O capítulo 5 descreve o desenvolvimento do sistema de supervisão. No capítulo 6 são apresentados a operação e o funcionamento do sistema de supervisão desenvolvido. Finalmente no capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho.

Capítulo 2: Teoria de Sistemas a Eventos Discretos (SED)

Neste capítulo são apresentados na seção 2.1 os conceitos de sistemas a eventos discretos e suas propriedades, na seção 2.2 são apresentados os fundamentos teóricos e a definição de uma rede de Petri, e a definição de rede de Petri marcada e sua dinâmica, por fim na seção 2.3 é apresentada a rede de Petri interpretada para controle, sua estrutura e definição. As seções 2.1 e 2.2 foram desenvolvidas com base na referência bibliográfica [2] e a seção 2.3 foi desenvolvida com base na referência bibliográfica [3].

2.1 Sistemas a eventos discretos

Definição: Um SED é um sistema de estados discretos e dirigido por eventos, isto é, a evolução dos estados dependente inteiramente da ocorrência assíncrona de eventos discretos ao longo do tempo. [2]

2.1.1 O conceito de evento

Um evento pode ser entendido como uma ocorrência instantânea que causa a transição de um estado para outro. Pode estar associado a uma ação específica (exemplo: alguém aperta um botão ou um sensor indica a presença de um objeto) ou pode ser o resultado de várias condições que se satisfazem em um dado momento (exemplo: o nível do fluido de um reservatório ultrapassou um determinado valor).

Neste trabalho o símbolo E será utilizado para denotar um conjunto de eventos e o símbolo e_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) será utilizado para denotar um evento.

2.1.2 Propriedades do sistema a eventos discretos

As principais propriedades dos SED ficam mais claras quando estes são comparados aos sistemas dinâmicos de variáveis contínuas (SDVC).

As propriedades dos SDVC são:

- Os estados são contínuos, podem ter qualquer valor real ou complexo.
- A transição de estados é determinada pelo tempo, o estado geralmente muda com o tempo.

Os sistemas a eventos discretos satisfazem as seguintes propriedades:

- O espaço de estado é um conjunto discreto.

- A transição dos estados é determinada pelos eventos.

2.2 Redes de Petri

As Redes de Petri são uma alternativa para a modelagem de sistemas a eventos discretos visto que elas representam de forma explícita a função de transição de um SED. Uma rede de Petri é uma ferramenta que manipula eventos de acordo com algumas regras. Uma de suas características é que elas incluem condições explícitas sob as quais um evento pode ser habilitado, o que permite a representação de SED cuja operação depende de esquemas de controle complexos. Essa representação é convenientemente descrita graficamente, pelo menos para sistemas de pequenas dimensões, resultando nos chamados grafos de Redes de Petri.

2.2.1 Fundamentos teóricos

Um grafo de uma Rede de Petri possui dois tipos de nós, lugares e transições, e arcos conectando-os. O grafo de uma Rede de Petri é um grafo bipartido, ou seja, os arcos não podem conectar lugares a lugares ou transições a transições. Contudo, arcos conectam lugares a transições e transições a lugares. Nas Redes de Petri, eventos são associados a transições e para uma transição ocorrer, algumas condições devem ser satisfeitas. A informação relacionada a estas condições está contida nos lugares. Alguns lugares são entradas para uma transição; eles são associados com as condições necessárias para esta transição ocorrer. Outros lugares são saídas de uma transição; eles são associados com as condições que são afetadas pela ocorrência dessa transição. Transições, lugares e certas relações entre eles definem os componentes básicos de um grafo de uma Rede de Petri.

2.2.2 Definição de um grafo de uma rede de Petri

A estrutura de uma Rede de Petri é um grafo bipartido ponderado (P, T, A, ω) onde,

- P é o conjunto finito de lugares, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$
- T é o conjunto finito de transições, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$
- $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$; A é o conjunto de arcos que ligam lugares a transições e transições a lugares no grafo.
- $\omega: A \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ é a função de ponderação dos arcos

Na descrição do grafo de uma rede de Petri é conveniente usar as notações $I(t_j)$ e $O(t_j)$ para representar os lugares que são, respectivamente, entradas e saídas da transição t_j isto é:

$$I(t_j) = \{p_i \in P : (p_i, t_j) \in A\}$$

$$O(t_j) = \{p_i \in P : (t_j, p_i) \in A\}$$

Exemplo 2.2

Considere o grafo da rede de Petri da Figura 2 definido por $P = \{p_1, p_2\}$, $T = \{t_1\}$, $A = \{(p_1, t_1), (t_1, p_2)\}$, $\omega(p_1, t_1) = 1$, $\omega(t_1, p_2) = 2$.

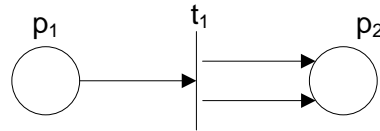


Figura 2: Rede de Petri do exemplo 2.2

A partir da rede de Petri da Figura 2 tem-se:

$$I(t_1) = \{p_1\}$$

$$O(t_1) = \{p_2\}$$

Notação similar pode ser usada para as transições de entrada e saída de um lugar, $I(p_i)$ e $O(p_i)$, respectivamente.

2.2.3 Redes de Petri marcadas

Visto que os lugares representam as condições para a ocorrência de um evento, é necessário se ter um mecanismo para indicar se essas condições são satisfeitas ou não. Isto é feito atribuindo-se fichas aos lugares, indicando que a condição descrita por aqueles lugares são satisfeitas. A maneira como as fichas são atribuídas aos lugares definem uma marcação. Para se definir formalmente uma marcação de uma rede de Petri, considere que n é o número de lugares de uma rede de Petri, então a marcação da rede de Petri (P, T, A, ω) é definida pela função $x: P \rightarrow \mathbb{N} = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$, em que $x(p_i) \in \mathbb{N}$ denota o número de fichas no lugar p_i . No grafo de uma rede de Petri uma ficha é representada por um disco escuro posicionado no lugar considerado.

$$x = [x(p_1) \quad x(p_2) \quad \dots \quad x(p_n)]^T$$

Por exemplo, na rede de Petri da Figura 3 o lugar p_1 possui uma ficha e o lugar p_2 nenhuma ficha, a marcação desta rede de Petri é, $x = [1 \ 0]^T$.

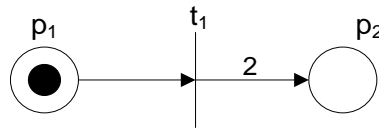


Figura 3: Rede de Petri marcada

2.2.4 Dinâmica das redes de Petri

O mecanismo de transição de estados em redes de Petri é determinado pelo movimento das fichas através da rede, conseqüentemente mudando o estado da rede de Petri. Quando uma transição está habilitada, diz-se que ela está pronta para disparar. Uma transição t_j está habilitada em uma rede de Petri se $x(p_i) \geq \omega(p_i, t_j), \forall p_i \in I(t_j)$, onde $x(p_i)$ representa o número de fichas existentes no lugar p_i . Quando uma transição habilitada dispara, ela altera o estado da rede da seguinte forma:

Seja, $t_j \in T$ uma transição habilitada e sejam $x(p_i)$ e $x'(p_i)$ as marcações dos lugares $p_i \in I(t_j) \cup O(t_j)$ antes e depois do disparo da transição, respectivamente. Então, quando t_j dispara tem-se que:

$$x'(p_i) = x(p_i) - \omega(p_i, t_j) + \omega(t_j, p_i) \quad (1)$$

Por exemplo, no lugar p_1 da rede de Petri da Figura 4 existe uma ficha, então a transição t_1 está habilitada, pois $x(p_1) \geq \omega(p_1, t_1) = 1$. Quando t_1 dispara, o lugar p_1 perde uma ficha e o lugar p_2 ganha duas fichas como pode ser visto na Figura 5.

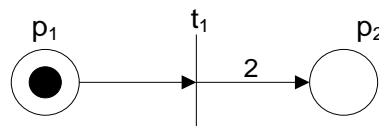


Figura 4: Estado inicial da rede de Petri

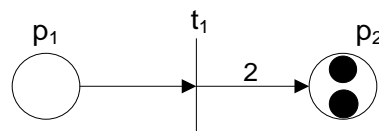


Figura 5: Estado da rede de Petri após o disparo de t_1

O lugar p_i de uma rede de Petri marcada é dito seguro se $x(p_i) \leq 1$ para todos os estados alcançáveis da rede de Petri. E uma rede de Petri é dita segura se todos os lugares pertencentes à rede de Petri são seguros.

A evolução do vetor de estados dada pela equação (1), após o disparo de uma transição t_j , pode ser descrita pela seguinte equação de estados:

$$x'^T = x^T + u \cdot W \quad (2)$$

Sendo u é um vetor linha formado por zeros, exeto o elemento da coluna j que é igual a 1 para representar o disparo da transição t_j . E W é a matriz de incidência $m \times n$ dada por:

$$W = W_{saída} - W_{entrada} \quad (3)$$

Sendo $W_{entrada} = [\omega_{ij}^{entrada}]$, com $\omega_{ij}^{entrada} = \omega(p_i, t_j)$ a matriz de incidência de entrada e $W_{saída} = [\omega_{ij}^{saída}]$, com $\omega_{ij}^{saída} = \omega(t_j, p_i)$ a matriz de incidência de saída.

2.3 Rede de Petri Interpretada para Controle

2.3.1 Rede de Petri sincronizada

Em uma Rede de Petri, uma transição é dispara se ela está habilitada. Em uma rede de Petri sincronizada, um evento é associado com cada transição, e o disparo desta transição ocorrerá se a transição estiver habilitada quando o evento associado ocorrer. Uma transição é dita receptiva a um evento externo quando ela está habilitada.

Uma rede de Petri sincronizada é uma tripla $(N, E, Sinc)$, onde:

- N é uma rede de Petri marcada,
- E é um conjunto de eventos externos,
- $Sinc: T \rightarrow E \cup e$, em que e é o evento que sempre ocorre.

Uma rede de Petri possui um conflito estrutural quando um único lugar habilita duas transições simultaneamente. Uma rede de Petri sincronizada é dita determinística se não possui um conflito estrutural, ou se possui um conflito estrutural e os eventos associados as transições habilitadas são mutuamente exclusivos, isto é, o evento associado a uma transição jamais irá ocorrer ao mesmo tempo que o evento associado a outra transição, como pode ser visto na Figura 6.

A Figura 7 representa uma rede de Petri sincronizada. O estado inicial é $[1, 0, 0]^T$ e t_1 está habilitada, portanto, t_1 é receptiva ao evento e_1 . Quando e_1 ocorre somente t_1 dispara, alcançando o estado $[0, 1, 0]^T$. Agora t_2 é receptiva ao evento e_2 e t_2 dispara quando o evento e_2 ocorre, alcançando o estado $[0, 0, 1]^T$. Para este estado a transição t_3 é habilitada e é receptiva ao evento e , disparando instantaneamente, e levando o sistema ao estado

inicial $[1, 0, 0]^T$. O estado $[0, 0, 1]^T$ é, portanto, instável. Neste caso quando e_2 ocorre há uma sequência de disparos, $t_2 t_3$. Uma rede de Petri sincronizada é dita ser estável quando toda ocorrência de um evento externo resulta em um estado estável após um número finito de disparos.

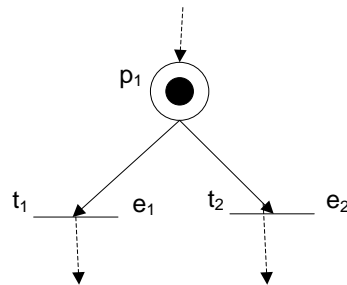


Figura 6: Rede de Petri com conflito estrutural, porém determinística.

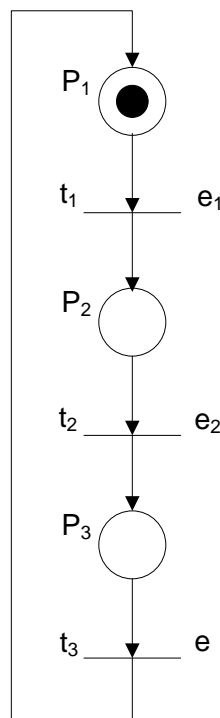


Figura 7: Rede de Petri sincronizada

2.3.2 Arco inibidor e arco habilitador

O arco inibidor é representado por uma linha com uma circunferência vazia na extremidade, como está representado na Figura 8, e tem as seguintes características:

- t_1 dispara se p_1 não possui fichas e as demais condições para t_1 disparar são verdadeiras;
- o disparo de t_1 não altera o número de fichas em p_1 .

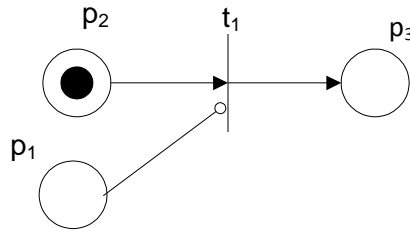


Figura 8: Rede de Petri com arco inibidor

O arco habilitador é representado por uma linha com uma seta vazia na extremidade, como está representado na Figura 9, e tem as seguintes características:

- t_1 dispara se p_1 possui fichas e as demais condições para t_1 disparar são verdadeiras;
- o disparo de t_1 não altera o número de fichas em p_1 .

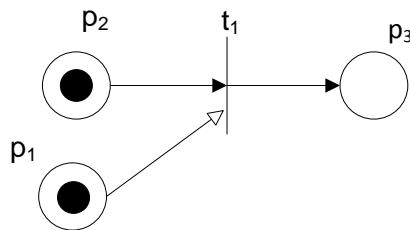


Figura 9: Rede de Petri com arco habilitador

2.3.3 Rede de Petri Interpretada para Controle

A Rede de Petri Interpretada para Controle é baseada na Rede de Petri sincronizada, ela recebe informações do meio externo, estas informações são variáveis booleanas (C_j^e) e eventos e_j . E envia comandos para o meio externo dependendo da marcação, A_i (*Boolean outputs*), B_i (*impulse outputs*), O_i (operações internas) e V_k (variáveis associadas à parte de processamento de dados). Dentro da rede de Petri interpretada para controle, a parte de controle envia operações para a parte de processamento de dados como, por exemplo, incrementar uma variável e recebe informações booleanas da parte de processamento de dados (C_j^o). O evento e_j e a condição $C_j = C_j^e \cdot C_j^o$ estão associadas com a transição t_j . A condição C_j é uma função booleana que depende tanto da parte de processamento de dados quanto do meio externo. O evento e_j pode ser um evento externo ou o evento que sempre ocorre e .

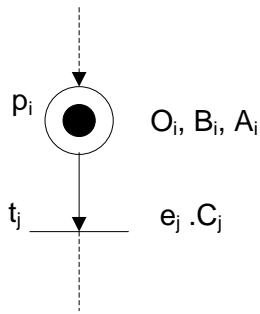


Figura 10: Exemplo rede de Petri interpretada para controle

Como pode ser visto na Figura 10, a transição t_j irá disparar se a transição t_j estiver habilitada e se a condição C_j for verdadeira quando o evento e_j ocorrer. As ações denotadas por O_i , B_i e A_i estão associadas ao lugar p_i , como mostra a Figura 10. Quando uma ficha é depositada no lugar p_i a operação O_i é iniciada e a ação de impulso B_i é enviada para o meio externo. A saída de nível A_i permanece com o valor 1 enquanto o lugar p_i possuir uma ficha.

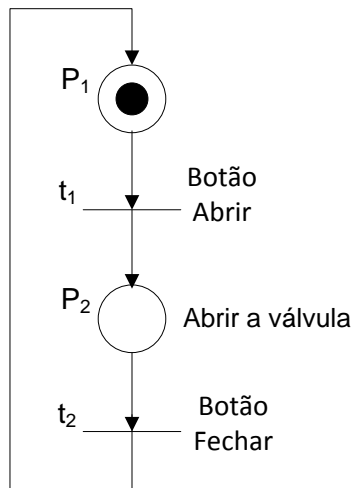


Figura 11: Rede de Petri interpretada pra controle

A Figura 11 mostra uma RPIC que controla uma válvula. Os eventos externos da rede de Petri interpretada para controle são: e_1 = botão abrir e e_2 = botão fechar. As condições associadas às transições são: $C_1=1$ e $C_2=1$. A ação associada ao lugar p_2 é: abrir a válvula, quando o lugar p_2 possuir uma ficha. O comportamento da rede de Petri interpretada para controle da Figura 11 é o seguinte: O estado inicial é $[1, 0]^T$, quando o evento “apertar o botão abrir” ocorre, a transição t_1 dispara alcançando o estado $[0, 1]^T$. Neste novo estado uma ação de nível (abrir a válvula) é estabelecida. A transição t_2 então está habilitada e quando ocorre o evento “apertar o botão fechar” ela dispara, desfazendo a ação de nível estabelecida pelo lugar p_2 e a rede de Petri interpretada para controle volta ao seu estado inicial $[1, 0]^T$.

Uma Rede de Petri Interpretada para Controle possui 8 características:

- É sincronizada com eventos externos;
- É estável;
- É segura;
- É determinística;
- Possui uma parte de processamento de dados;
- Possui transições temporizadas;
- Possui arcos habilitadores;
- Recebe informações do ambiente externo. Envia ações de nível e impulso, que estão associadas aos lugares, para o meio externo.

2.4 Conclusões

Conclui-se que as redes de petri possuem uma fundamentação simples, com uma representação gráfica de fácil visualização. As redes de Petri representam bem as relações entre condições e eventos usados na modelagem de sistemas a eventos discretos. As funcionalidades da rede de Petri apresentadas neste capítulo como o arco habilitador, as temporizações associadas às transições e a sincronização da rede de Petri a eventos externos serão utilizadas para a modelagem da automação do sistema Anti-Heeling.

Capítulo 3: Descrição do funcionamento do Sistema Anti-Heeling

Neste capítulo será apresentado o princípio de funcionamento do sistema Anti-Heeling e o princípio de funcionamento dos equipamentos que fazem parte desse sistema, além de uma breve descrição do funcionamento do sistema de lastro.

Este capítulo está estruturado do seguinte forma: na seção 3.1 é apresentada a descrição do funcionamento do sistema *Anti-Heeling*, o princípio de acionamento e funcionamento dos equipamentos e sensores que compõem o sistema, e a lógica de funcionamento do sistema no modo automático e manual, de acordo com os eventos externos. Na seção 3.2 é feita uma breve descrição do funcionamento do Sistema de Lastro.

3.1 Sistema *Anti-Heeling*

3.1.1 Descrição

O sistema *Anti-Heeling* tem como função detectar o ângulo de inclinação de uma embarcação e automaticamente rebalancear a mesma quando este ângulo supera um valor pré-estabelecido bombeando água entre dois tanques de água posicionados a bombordo (BB) e a boreste (BE) da embarcação. Os tanques são utilizados como contrapeso, e transferindo-se água de um tanque para o outro o sistema consegue contrabalancear o peso necessário e levar a inclinação da embarcação para aproximadamente zero grau. O sistema é composto por uma bomba d'água e utiliza quatro válvulas que são comandadas remotamente para controlar a direção do fluxo de água, além de quatro sensores de nível tipo bóia para detectar nível baixo e nível alto em cada um dos dois tanques (tanque BB *Anti-Heeling* e tanque BE *Anti-Heeling*). A Figura 12 mostra a planta de um sistema *Anti-Heeling*.

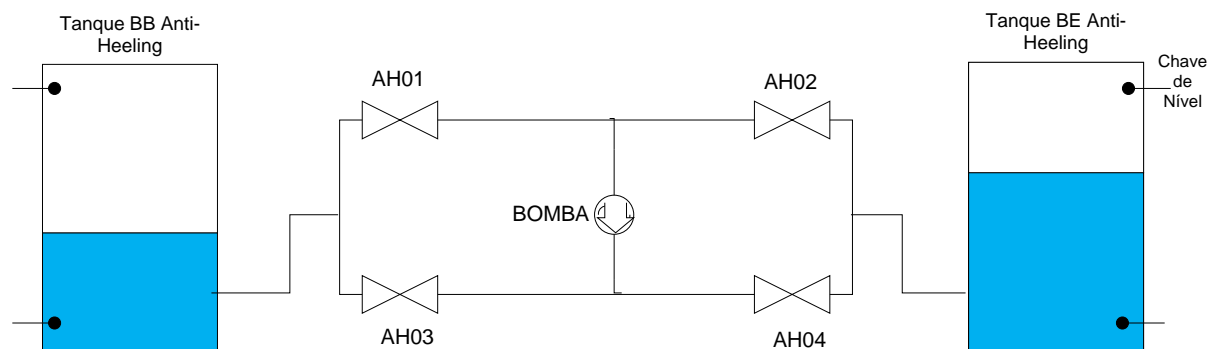


Figura 12: Planta de um Sistema *Anti-Heeling*

3.1.2 Equipamentos

3.1.2.1 Bomba *Anti-Heeling*

A Bomba *Anti-Heeling* é uma bomba unidirecional e tem a função de bombear água do tanque BB *Anti-Heeling* para o tanque BE *Anti-Heeling* e vice-versa com o auxílio das válvulas AH01, AH02, AH03 e AH04, como mostrado na Figura 12.

Para a partida da Bomba *Anti-Heeling* utiliza-se uma contatora com três contatos principais e um contato auxiliar normalmente aberto. Quando a bobina da contatora é energizada, seus contatos principais fecham e desta forma a Bomba *Anti-Heeling* recebe a alimentação trifásica. Através do contato auxiliar normalmente aberto da contatora, é monitorado o estado da Bomba *Anti-Heeling*, quando o contato está aberto tem-se o estado “Bomba *Anti-Heeling* Desligada” e quando este contato está fechado tem-se o estado “Bomba *Anti-Heeling* Ligada”, como pode ser visto na Figura 13.

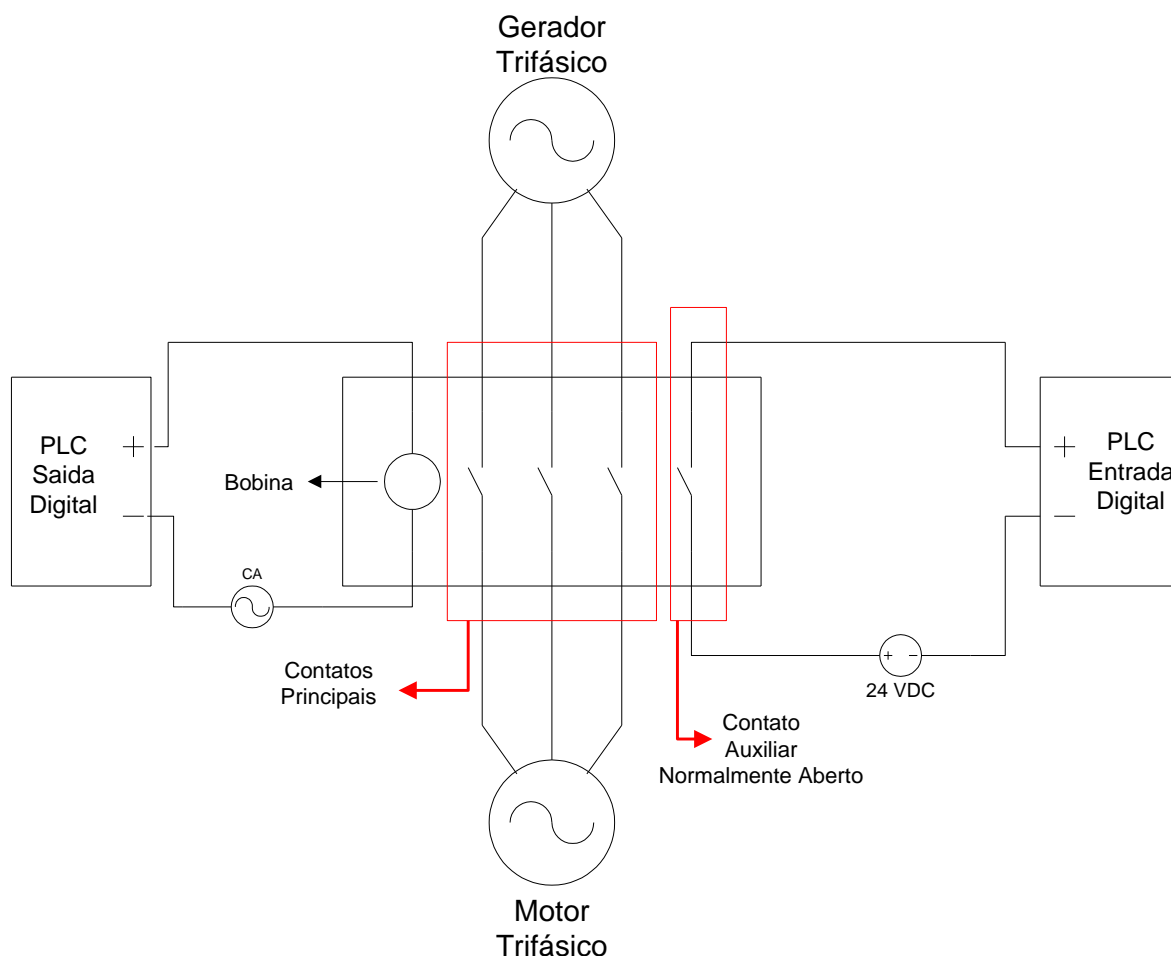


Figura 13: Acionamento de um motor através de uma contatora

3.1.2.2 Válvulas tipo borboleta com atuador pneumático

Uma vez que a Bomba *Anti-Heeling* é unidirecional, as válvulas tipo borboleta têm a função de possibilitar a escolha do sentido do fluxo de água, assim quando a operação a ser realizada for a transferência de água do tanque BB *Anti-Heeling* para o tanque BE *Anti-Heeling*, as válvulas AH01 e AH04 serão utilizadas para permitir o fluxo de água nesta direção. E quando a operação a ser realizada for a transferência de água do tanque BE *Anti-Heeling* para o tanque BB *Anti-Heeling*, as válvulas AH02 e AH03 serão utilizadas para a operação possibilitando, assim, o fluxo de água no sentido desejado.

O atuador de cada válvula borboleta é conectado a uma válvula piloto, que é uma válvula direcional 5/2 vias acionada por simples solenóide com retorno por mola. Quando este solenóide recebe tensão alternada, a válvula piloto atua liberando a passagem de ar comprimido no sentido de abertura da válvula borboleta (1-4-2-3) e fechando a passagem de ar comprimido no sentido de fechamento da válvula borboleta. Quando a tensão AC é retirada do solenóide, a válvula piloto volta ao seu estado normal por ação de uma mola, liberando a passagem do ar comprimido no sentido de fechamento da válvula borboleta (1-2-4-5) e bloqueando a passagem do ar comprimido no sentido de abertura da válvula borboleta. Cada válvula possui um sensor digital de fim de curso para indicar se a mesma está fechada (quando o sensor tem nível lógico 1) e outro para indicar se a mesma está aberta (quando o sensor tem nível lógico 1). O processo de fechamento das válvulas descrito acima pode ser observado na Figura 14 e o processo de abertura, na Figura 15.

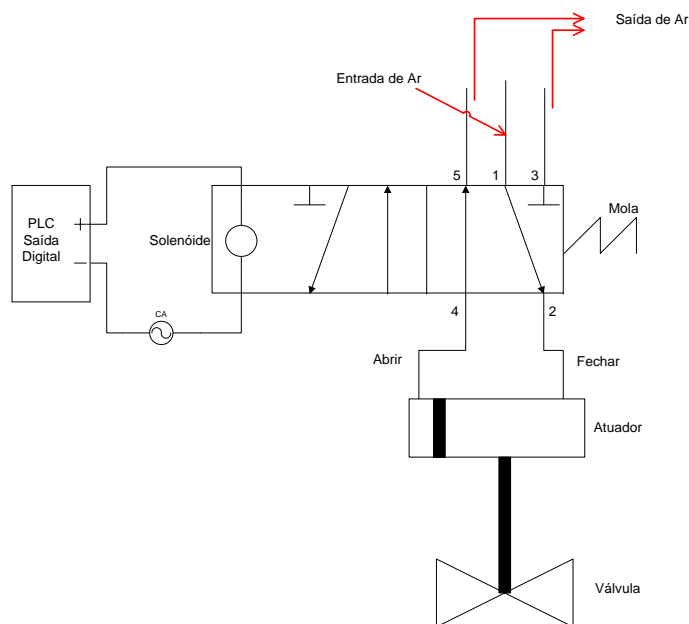


Figura 14: Lógica de funcionamento do processo de fechamento da válvula

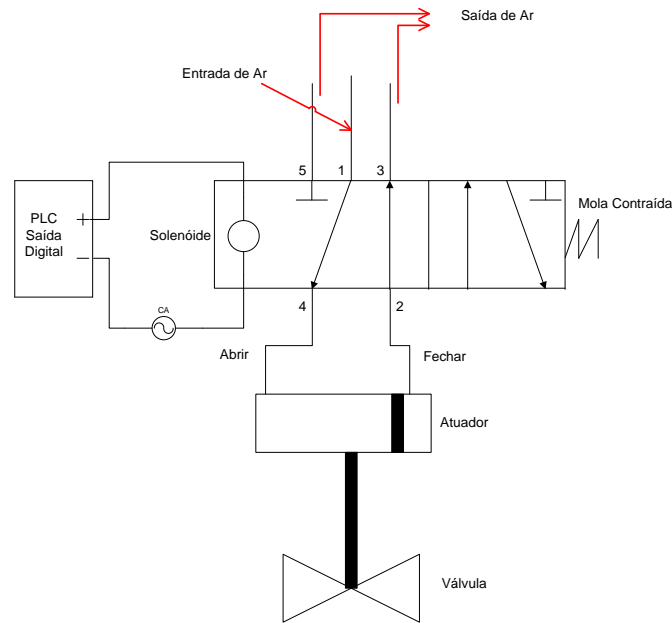


Figura 15: Lógica de funcionamento do processo de abertura da válvula

3.1.2.3 Tanque Bombordo (BB) e Tanque Boreste (BE) *Anti-Heeling*

Os tanques BB e BE *Anti-Heeling* são utilizados como contra peso e cada um é posicionado em um bordo da embarcação. Transferindo-se água de um tanque para o outro é possível mudar a distribuição de peso da embarcação e, por exemplo, contrabalancear o peso de uma carga que foi colocada em um dos bordos, mantendo assim a inclinação da embarcação em aproximadamente zero grau.

3.1.2.4 Sensor tipo bóia

Os sensores tipo bóia são utilizados para a medição de nível baixo e nível alto dos tanques BB e BE *Anti-Heeling*. Esses sensores possuem contatos que mudam de estado quando o nível dos tanques supera o nível no qual os sensores estão instalados e voltam ao seu estado normal quando o nível dos tanques fica abaixo do nível em que os sensores estão instalados. Desta forma será utilizado um sensor com contato normalmente fechado para indicar nível baixo e um outro sensor com contato normalmente aberto para indicar nível alto.

3.1.2.5 Sensor de inclinação

O ângulo de inclinação da embarcação é medido por um sensor eletromecânico tipo pêndulo. Quando a embarcação inclina para um lado um pêndulo mecânico excita um

circuito eletrônico que gera um sinal de corrente na faixa de 4-20mA proporcional a inclinação do pêndulo, em que 4mA representa uma inclinação de 8 graus para BB, 12 mA representa zero grau de inclinação e 20mA representa 8 graus de inclinação para BE.

3.1.3 Funcionamento Manual do Sistema *Anti-Heeling*

O Sistema *Anti-Heeling* pode ser operado manualmente através do sistema de supervisão quando o modo de operação manual está selecionado. Nesta seção será apresentada a operação do sistema no modo manual, os passos para a operação de transferência de água entre os tanques BB e BE *Anti-Heeling* serão descritas a seguir.

- Operação de transferência de água do Tanque BB *Anti-Heeling* para o tanque BE *Anti-Heeling*.
 - Passo 1: Abrir as válvulas AH01 e AH04 (Figura 12)
 - Passo 2: Ligar a Bomba *Anti-Heeling*.
 - Passo 3: Quando a inclinação chegar no valor desejado, desligar a Bomba *Anti-Heeling* e fechar as válvulas AH01 e AH04.
- Operação de transferência de água do tanque BE *Anti-Heeling* para o tanque BB *Anti-Heeling*.
 - Passo 1: Abrir as válvulas AH02 e AH03 (Figura 12).
 - Passo 2: Ligar a Bomba *Anti-Heeling*.
 - Passo 3: Quando a inclinação chegar no valor desejado, desligar a Bomba *Anti-Heeling* e fechar as válvulas AH02 e AH03.

É importante dizer que nesse projeto a dinâmica do movimento do barco está sendo desprezada, pois quando se transfere água de um tanque para outro o peso do volume de água deslocado é muito menor que o peso total da embarcação. Sendo assim a inclinação da embarcação varia durante o processo de transferência de água entre os tanques, mas não oscila quando o processo de transferência de água entre os tanques é finalizado.

3.1.4 Funcionamento Automático do Sistema *Anti-Heeling*

O Sistema *Anti-Heeling* além de funcionar no modo manual, também pode funcionar no modo automático. Quando o sistema está no modo automático todos os comandos são realizados pela automação, não necessitando de interferência do operador. Nessa seção será apresentado o princípio de funcionamento do sistema no modo automático.

Quando se muda o modo de operação de manual para automático todas as válvulas que estão com o comando para abrir tem os mesmos retirados passando a ter o comando

para fechar, bem como a bomba d'água, que se está com o comando para ligar, passa a receber o comando para desligar. Desta forma os equipamentos responsáveis pelo bombeamento da água de um tanque para o outro passam a estar prontos para a operação em automático. Quando o operador mudar o modo de operação de automático para manual, todas as válvulas que estão com o comando para abrir tem os mesmos retirados passando a ter o comando para fechar, e a bomba d'água estando com o comando para ligar, passa a receber o comando para desligar.

3.1.4.1 Transferência de água do Tanque BB *Anti-Heeling* para o Tanque BE *Anti-Heeling*

Nessa subseção serão apresentadas as condições e o princípio de funcionamento do sistema no modo automático para a transferência de água do tanque BB para o BE.

As condições para a partida automática do sistema são:

- Modo de operação Automático selecionado;
- Válvulas AH-01, AH-02, AH-03, AH-04 fechadas;
- Bomba *Anti-Heeling* desligada;
- Sensor tipo bóia para indicar Nível do Tanque BB *Anti-Heeling* Baixo com nível lógico igual a zero; e
- Sensor tipo bóia para indicar Nível do Tanque BE *Anti-Heeling* Alto com nível lógico igual a zero.

O sistema parte em automático quando as condições acima estão satisfeitas e a inclinação da embarcação supera 1 grau para BB. A parada em automático acontece quando o Nível do Tanque BB *Anti-Heeling* está Baixo ou se o Nível do Tanque BE *Anti-Heeling* está Alto ou se a inclinação é igual a zero grau.

- Partida: Quando a inclinação da embarcação supera 1 grau para BB o sistema envia um comando para a abertura das válvulas AH-01 e AH-04, e 5 segundos após envia um comando para ligar a Bomba *Anti-Heeling*. Ao final deste processo o estado do sistema é: Válvulas AH01 e AH04 abertas, AH02 e AH03 fechadas e Bomba *Anti-Heeling* ligada.
- Parada: Quando a inclinação da embarcação alcança zero grau ou quando o Nível do Tanque BB *Anti-Heeling* atinge nível Baixo ou quando Nível do Tanque BE *Anti-Heeling* atinge nível Alto o sistema envia um comando para desligar a Bomba *Anti-Heeling*, e fechar as válvulas AH-01 e AH-04. Ao final deste processo o estado do sistema é: Válvulas AH01, AH02, AH03 e AH04 fechadas, e Bomba *Anti-Heeling* desligada.

3.1.4.2 Transferência de água do Tanque BE *Anti-Heeling* para o Tanque BB *Anti-Heeling*

Nessa subseção serão apresentadas as condições e o princípio de funcionamento do sistema no modo automático para a transferência de água do tanque BE para o BB.

De maneira análoga, as condições para a partida automática do sistema são:

- Modo de operação Automático selecionado;
- Válvulas AH-01, AH-02, AH-03, AH-04 fechadas;
- Bomba *Anti-Heeling* desligada;
- Sensor tipo bóia para indicar Nível do Tanque BE *Anti-Heeling* Baixo com nível lógico igual a zero; e
- Sensor tipo bóia para indicar Nível do Tanque BB *Anti-Heeling* Alto com nível lógico igual a zero.

O sistema parte em automático quando as condições acima estão satisfeitas e a inclinação da embarcação supera 1 grau para BE. A parada em automático acontece quando o Nível do Tanque BE *Anti-Heeling* está Baixo ou se o Nível do Tanque BB *Anti-Heeling* está Alto ou se a inclinação é igual a zero grau.

- Partida: Quando a inclinação da embarcação supera 1 grau para BE o sistema envia um comando para a abertura das válvulas AH-02 e AH-03, e 5 segundos após envia um comando para ligar a Bomba *Anti-Heeling*. Ao final deste processo o estado do sistema é: Válvulas AH02 e AH03 abertas, Válvulas AH01 e AH04 Fechadas e bomba *Anti-Heeling* ligada.
- Parada: Quando a inclinação da embarcação alcança zero grau ou quando o Nível do Tanque BE *Anti-Heeling* atinge o nível Baixo ou quando Nível do Tanque BB *Anti-Heeling* atinge o nível Alto o sistema envia um comando para desligar a bomba *Anti-Heeling*, e fechar as válvulas AH-02 e AH-03. Ao final deste processo o estado do sistema é: Válvulas AH01, AH02, AH03 e AH04 fechadas e Bomba *Anti-Heeling* desligada.

3.2 Sistema de Lastro

3.2.1 Descrição

O sistema de Lastro tem como finalidade controlar o calado (quanto da embarcação está embaixo da água) da embarcação através dos tanques de lastro localizados na parte central da embarcação e distribuídos ao longo da mesma de forma que o seu conteúdo não altere a inclinação da embarcação. Enchendo esses tanques de água o peso da embarcação aumenta e a mesma afunda mais, aumentando o seu calado. Quando se retira água dos tanques a embarcação fica mais leve e se eleva diminuindo o seu calado. Cada tanque possui uma válvula comandada remotamente que irá permitir ou não a passagem de água para dentro ou para fora dos tanques, e um conjunto com 4 válvulas e uma bomba d'água que irá controlar o sentido do fluxo de água para permitir encher ou esvaziar os tanques. O nível de cada tanque de lastro será monitorado por sensores de pressão. O sistema de lastro também é responsável por encher ou esvaziar os tanques do sistema Anti-Heeling. A planta do sistema de lastro é apresentada na Figura 16.

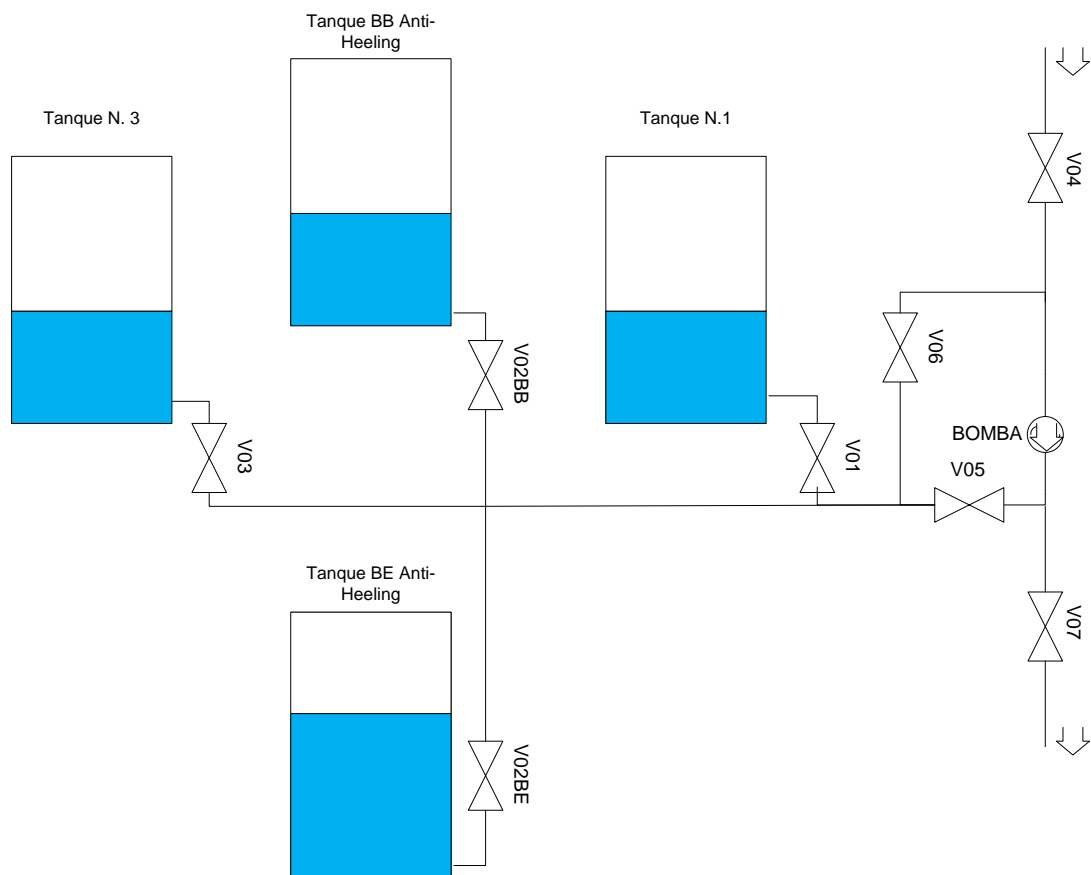


Figura 16: Planta do Sistema de Lastro

3.2.2 Equipamentos

3.2.3 Bomba de Lastro

A Bomba de Lastro funciona de maneira similar a bomba do sistema *Anti-Heeling*, conforme descrito na seção 3.1.2.1.

3.2.3.1 Válvulas do Sistema de Lastro

As válvulas V01, V02BB, V02BE, V03, V04, V05, V06 e V07 são do mesmo tipo que as válvulas descritas na seção 3.1.2.2 e funcionam de maneira similar.

3.2.3.2 Sensores de pressão

Os sensores de pressão são utilizados para a medição da pressão da coluna de um líquido qualquer em um tanque. O sensor possui uma membrana que recebe a pressão da coluna do líquido e esta pressão atua sobre um circuito eletrônico que gera um sinal de corrente na faixa de 4 – 20 mA, proporcional à pressão da altura da coluna do líquido. Os sensores são calibrados para gerarem 4mA quando a membrana está recebendo a pressão atmosférica, e 20 mA quando está recebendo a pressão atmosférica mais a pressão da coluna do líquido correspondente à altura máxima do tanque.

Como geralmente é impossível instalar o sensor no fundo do tanque, a posição do sensor acima do fundo do tanque deve ser conhecida para se corrigir a altura da coluna do líquido medida pelo sensor como indicado na Figura 17. Assim tem-se que $h_{real} = h_{sensor} + h_{medida}$. Para todos os sensores, $h_{sensor} = 0,05 h_{tanque}$, em que h_{tanque} denota a altura do tanque.

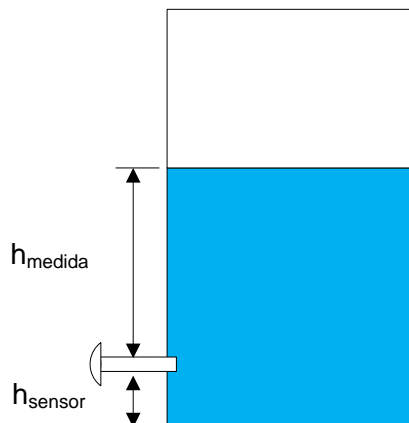


Figura 17: Sensor de Pressão

3.2.4 Funcionamento

O Sistema de Lastro opera somente em modo manual, desta forma todas as ações sobre os equipamentos serão feitas pelo operador através do sistema de supervisão.

3.2.5 Enchendo um tanque

Para encher qualquer um dos tanques é necessário primeiro abrir as válvulas V04 e V05, e uma das válvulas V01, V02BB, V02BE, ou V03, que permitem a entrada e saída de água dos tanques. Após abrir estas válvulas a Bomba de Lastro deve ser ligada.

Para interromper este processo, basta desligar a Bomba de Lastro e fechar as válvulas que estão abertas.

A seguir será apresentado como exemplo, os passos para encher o tanque BB *Anti-Heeling*. Esses passos podem ser seguidos caso se deseje encher outro tanque, sendo que as operações sobre a válvula V02BB devem ser substituídas por operações sobre a válvula correspondente ao tanque que se deseja encher, V01, V02BE ou V03.

Exemplo: Encher o tanque BB Anti-Heeling

- Passo 1: Abrir as válvulas V04, V05 e V02BB
- Passo 2: Ligar a Bomba de Lastro.
- Passo 3: Após encher o tanque até o nível desejado, Desligar a Bomba de Lastro e Fechar as válvulas V02BB, V04 e V05.

3.2.6 Esvaziando um tanque

Para esvaziar qualquer um dos tanques é necessário primeiro abrir as válvulas V06 e V07, e uma das válvulas V01, V02BB, V02BE ou V03, que permitem a entrada e saída de água dos tanques. Após abrir estas válvulas a Bomba de Lastro deve ser ligada.

Para interromper este processo, basta desligar a Bomba de Lastro e fechar as válvulas que estão abertas.

A seguir será apresentado como exemplo, os passos para esvaziar o tanque BE *Anti-Heeling*. Esses passos podem ser seguidos caso se deseje esvaziar outro tanque, sendo que as operações sobre a válvula V02BE devem ser substituídas por operações sobre a válvula correspondente ao tanque que se deseja encher, V01, V02BE ou V03.

Exemplo: Esvaziar o tanque BE Anti-Heeling

- Passo 1: Abrir as válvulas V06, V07 e V02BE
- Passo 2: Ligar a Bomba de Lastro.
- Passo 3: Apos esvaziar o tanque até o nível desejado, Desligar a Bomba de Lastro e Fechar as válvulas V02BE, V06 e V07.

3.3 Conclusões

Neste capítulo foram apresentadas as descrições de funcionamento do Sistema *Anti-Heeling* e do Sistema de Lastro bem como a descrição da forma de acionamento e funcionamento de cada equipamento e sensor que faz parte desses sistemas. No capítulo seguinte será apresentada a rede de Petri interpretada para controle obtida a partir da descrição do funcionamento do Sistema *Anti-Heeling* e também será apresentado o programa ladder desenvolvido a partir dessa RPIC.

Capítulo 4: Rede de Petri interpretada para controle do Sistema Anti-Heeling e programa *ladder*

Neste capítulo, na seção 4.1 será apresentada a rede de Petri interpretada para controle obtida a partir da descrição do funcionamento do sistema *Anti-Heeling* apresentada no capítulo 3 e sua descrição, na seção 4.2 serão apresentados os contatos, bobinas e outros elementos do programa *RSLogix* utilizados no desenvolvimento do programa *ladder*, na seção 4.3 será apresentado o método de conversão de RPIC para *ladder* que será utilizado para desenvolver o programa *ladder*, e na seção 4.4 será apresentado o programa *ladder* obtido a partir desta rede de Petri interpretada para controle utilizando a técnica descrita na seção 4.3 para a conversão direta da RPIC para *ladder*.

4.1 Rede de Petri interpretada para controle do sistema *Anti-Heeling*

A partir da descrição de funcionamento do sistema *Anti-Heeling* e utilizando a técnica de modelagem de sistemas a eventos discretos, descrito no Capítulo 2, foi obtida a rede de Petri interpretada para controle da Figura 18. A cada transição é associada uma receptividade e aos lugares são associadas ações, que podem ser vistas na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente. A dinâmica dessa rede de Petri será detalhada a seguir.

A rede de Petri do sistema *Anti-Heeling* é composta por 14 lugares (p_1, p_2, \dots, p_{14}) e 26 transições (t_1, t_2, \dots, t_{26}). O lugar p_1 representa o modo manual de funcionamento e o lugar p_2 representa o modo de funcionamento automático, assim, arcos habilitadores ligam o lugar p_1 a transições que só podem disparar no modo manual e o lugar p_2 a transições que só podem disparar no modo automático de funcionamento. Desta forma, o disparo dessas transições não altera a marcação dos lugares. O lugar p_3 representa o modo de operação *OFF*, nesse modo tanto o comando manual quanto o automático ficam desligados. Os lugares p_4, p_6, p_{10} e p_{12} representam a ausência do comando para abrir as válvulas AH01, AH04, AH02 e AH03, respectivamente, e cada um desses lugares é entrada de transições que quando disparam, marcam lugares que possuem ações de nível associadas para comandar a abertura de uma válvula. Os lugares p_5, p_7, p_9 e p_{11} possuem uma ação de nível associada a cada um, abrir válvula AH01, AH04, AH02 e AH03, respectivamente. O lugar p_{13} representa a ausência do comando para ligar a bomba do sistema *Anti-Heeling*, esse lugar é entrada das transições que quando disparam, marcam o lugar que possui a ação de nível associada para comandar a partida da bomba. O lugar p_{14} possui uma ação de nível associada, ligar a bomba do sistema *Anti-heeling*. O lugar p_8 possui a ação de iniciar um

temporizador com um atraso de 5 segundos, para retardar a partida da bomba de água quando o sistema está no modo automático.

A transição t_3 dispara quando o lugar p_3 possui uma ficha, ou seja, o sistema está no modo de operação *OFF*, e a receptividade R_3 é verdadeira, ou seja, o operador seleciona o modo manual. Com o disparo de t_3 o lugar p_3 perde uma ficha e o lugar p_1 ganha uma ficha, mudando o modo de operação de *OFF* para manual. A transição t_{24} dispara quando o lugar p_1 possui uma ficha e o operador seleciona o modo *OFF*. Com o disparo de t_{24} o lugar p_1 perde uma ficha e o lugar p_3 ganha uma ficha, o que significa a mudança do modo de operação manual para o modo *OFF*. Para o disparo da transição t_{25} o lugar p_2 deve possuir uma ficha e a receptividade R_{25} deve ser verdadeira, ou seja, quando o operador muda do modo automática para o modo *OFF* de operação. Quando t_{25} dispara o lugar p_2 perde uma ficha e o lugar p_3 ganha uma ficha, o que significa a mudança do modo automático de operação para o modo *OFF*.

O disparo da transição t_1 ocorre quando o lugar p_1 possui uma ficha, isto é, quando o sistema está no modo manual de operação e a receptividade R_1 é verdadeira, isto é, quando o operador seleciona o modo automático. Com o disparo de t_1 o lugar p_1 perde uma ficha e o lugar p_2 ganha uma ficha, o que significa que o sistema agora está no modo automático de operação. O disparo da transição t_2 ocorre quando o lugar p_2 possui uma ficha, ou seja, o sistema está no modo automático de operação e a receptividade R_2 é verdadeira, isto é, quando o operador seleciona o modo manual. Com o disparo de t_2 o lugar p_2 perde uma ficha e o lugar p_1 ganha uma ficha, o que representa o modo manual de operação. A transição t_3 dispara quando o lugar p_3 possui uma ficha e a receptividade R_3 é verdadeira, ou seja, o operador seleciona o modo manual.

A transição t_6 está associada ao evento “apertar o botão abrir da válvula AH01”. Quando cada um dos lugares p_1 e p_4 possui uma ficha e o operador aperta o botão para abrir a válvula AH01 a transição t_6 dispara. Com o disparo de t_6 o lugar p_4 perde uma ficha e o lugar p_5 ganha uma ficha. Como a ação de nível “abrir a válvula AH01” está associada ao lugar p_5 essa ação é realizada. Essa mesma dinâmica vale para a transição t_9 que está associada ao evento “apertar o botão abrir da válvula AH04” e aos lugares p_6 e p_7 , onde ao lugar p_7 está associada à ação de nível “abrir a válvula AH04”; também vale para a transição t_{13} que está associada ao evento “apertar o botão abrir da válvula AH02” e aos lugares p_{10} e p_9 , onde ao lugar p_9 está associada à ação de nível “abrir a válvula AH02”; e a transição t_{16} que está associada ao evento “apertar o botão abrir da válvula AH03” e aos lugares p_{12} e p_{11} , onde ao lugar p_{11} está associada à ação de nível “abrir a válvula AH03”.

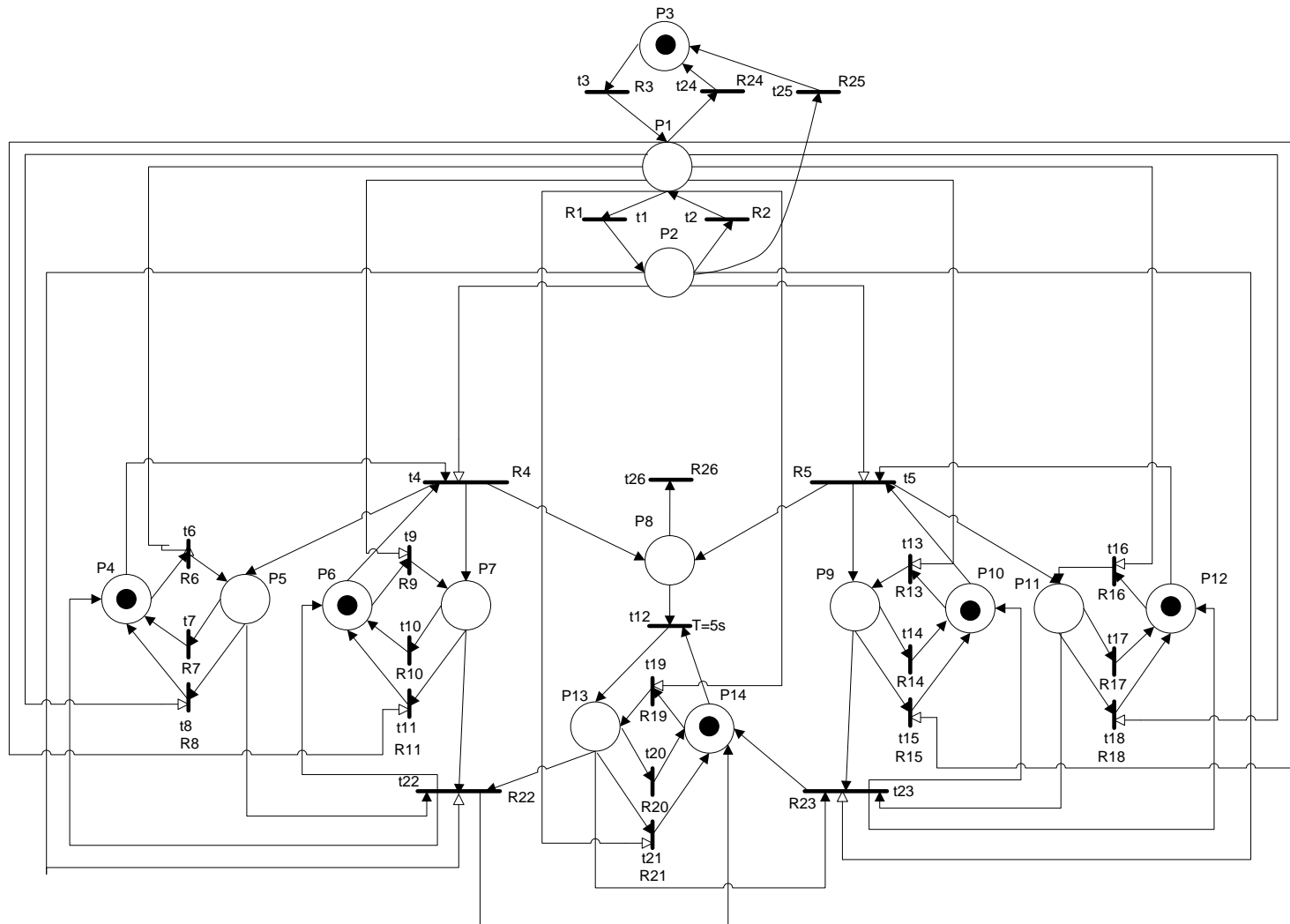


Figura 18: Rede de Petri Interpretada para controle do sistema *Anti-Heeling*

O disparo da transição t_8 ocorre quando cada um dos lugares p_1 e p_5 possui uma ficha e o evento “apertar o botão fechar da válvula AH01” ocorre. Com o disparo de t_8 o lugar p_5 perde uma ficha e o lugar p_4 ganha uma ficha. Como o lugar p_5 perdeu uma ficha, a ação de nível associada a ele é retirada e a válvula AH01 fecha. Esse mesmo raciocínio vale para a transição t_{11} que está associada ao evento “apertar o botão fechar da válvula AH04” e os lugares p_7 e p_6 ; a transição t_{15} que está associada ao evento “apertar o botão fechar da válvula AH02” e os lugares p_9 e p_{10} ; e a transição t_{18} que está associada ao evento “apertar o botão fechar da válvula AH03” e os lugares p_{11} e p_{12} .

A transição t_{19} está associada ao evento “apertar o botão ligar da bomba de água”. Quando cada um dos lugares p_1 e p_{14} possui uma ficha e o operador aperta o botão para ligar a bomba de água, a transição t_{19} dispara. O lugar p_{14} perde uma ficha e o lugar p_{13} ganha uma ficha. Como a ação de nível ligar a bomba de água está associada ao lugar p_{13} , esta ação é realizada.

O disparo da transição t_{21} ocorre quando cada um dos lugares p_1 e p_{13} possui uma ficha e o evento “apertar o botão desligar da bomba de água” ocorre. Com o disparo de t_{21} o lugar p_{13} perde uma ficha e o lugar p_{14} ganha uma ficha. Como o lugar p_{13} perdeu a ficha, a ação de nível associada a ele é retirada e a bomba de água é desligada.

Para o disparo da transição t_7 o lugar p_5 deve possuir uma ficha e os eventos associados à transição t_7 , “mudança do modo manual para o modo automático” ou “mudança do modo de operação para *OFF*”, deve ocorrer. Com o disparo de t_7 o lugar p_5 perde uma ficha e o lugar p_4 ganha uma ficha. Como o lugar p_5 perdeu a ficha, a ação de nível associada a ele é retirada. Esse mesmo raciocínio pode ser utilizado para a transição t_{10} e os lugares p_7 e p_6 ; para a transição t_{14} e os lugares p_9 e p_{10} ; para a transição t_{17} e os lugares p_{11} e p_{12} ; e para a transição t_{20} e os lugares p_{13} e p_{14} .

A transição t_4 dispara quando cada um dos lugares p_2, p_4 e p_6 possui uma ficha e a receptividade R_4 é verdadeira, a receptividade R_4 é verdadeira quando as válvulas AH01, AH02, AH03 e AH04 estão fechadas, a bomba de água está desligada, o nível do tanque BB não está baixo, o nível do tanque BE não está alto e o evento “inclinação maior que 1 grau para bombordo (BB)” ocorre. Com o disparo de t_4 cada um dos lugares p_4 e p_6 perde uma ficha e cada um dos lugares p_5, p_7 e p_8 ganha uma ficha, o que leva a ação de nível, abrir a válvula AH01 associada ao lugar p_5 e abrir a válvula AH04 associada ao lugar p_7 , além da ação associada ao lugar p_8 que inicia uma contagem de 5 segundos. Cinco segundos após o lugar p_8 ter ganhado uma ficha a transição t_{12} dispara, o lugar p_{13} ganha uma ficha e o

lugar p_{14} perde uma ficha. A ação de nível associada ao lugar p_{13} “ligar a bomba de água” é realizada. Com as vavulas AH01 e AH04 abertas e a bomba ligada, o processo de transferência de água do tanque BB para o tanque BE para corrigir a inclinação do navio é iniciado. A transição t_5 dispara quando cada um dos lugares p_2, p_{10} e p_{12} possui uma ficha e a receptividade R_5 é verdadeira, a receptividade R_5 é verdadeira quando as válvulas AH01, AH02, AH03 e AH04 estão fechadas, a bomba de água está desligada, o nível do tanque BE não está baixo, o nível do tanque BB não está alto e o evento “inclinação maior que 1 grau para boreste (BE)” ocorre. Com o disparo de t_5 cada um dos lugares p_{10} e p_{12} perde uma ficha e cada um dos lugares p_8, p_9 e p_{11} ganha uma ficha, o que leva a ação de nível, abrir a válvula AH02 associada ao lugar p_9 e abrir a válvula AH03 associada ao lugar p_{11} , além da ação associada ao lugar p_8 que inicia uma contagem de 5 segundos. Cinco segundos após o lugar p_8 ter ganhado uma ficha a transição t_{12} dispara, o lugar p_{13} ganha uma ficha e o lugar p_{14} perde uma ficha. A ação de nível associada ao lugar p_{13} “ligar a bomba de água” é realizada. Com as vavulas AH02 e AH03 abertas e a bomba ligada, o processo de transferência de água do tanque BE para o tanque BB para corrigir a inclinação do navio é iniciado.

A transição t_{22} dispara quando cada um dos lugares p_2, p_5, p_7 e p_{13} possui uma ficha e a receptividade R_{22} é verdadeira, a receptividade R_{22} é verdadeira quando o evento “inclinação igual a zero grau” ocorre, ou quando o evento “nível do tanque BB baixo” ocorre, ou quando o evento “nível do tanque BE alto” ocorre. Com o disparo de t_{22} cada um dos lugares p_5, p_7 e p_{13} perde uma ficha e cada um dos lugares p_4, p_6 e p_{14} ganha uma ficha. Como cada um dos lugares p_5, p_7 e p_{13} perdeu uma ficha, a ação de nível associada a cada um é retirada. Assim as vavulas AH01 e AH04 fecham e a bomba de água é desligada, finalizando o processo de transferência de água do tanque BB para o tanque BE. A transição t_{23} dispara quando cada um dos lugares p_2, p_9, p_{11} e p_{13} possui uma ficha e a receptividade R_{23} é verdadeira, a receptividade R_{23} é verdadeira quando o evento “inclinação igual a zero grau” ocorre, ou quando o evento “nível do tanque BE baixo” ocorre, ou quando o evento “nível do tanque BB alto” ocorre. Com o disparo de t_{23} cada um dos lugares p_9, p_{11} e p_{13} perde uma ficha e cada um dos lugares p_{10}, p_{12} e p_{14} ganha uma ficha. Como cada um dos lugares p_9, p_{11} e p_{13} perdeu uma ficha, a ação de nível associada a cada um é retirada. Assim as vavulas AH02 e AH03 fecham e a bomba de água é desligada, finalizando o processo de transferência de água do tanque BE para o tanque BB.

A transição t_{26} dispara quando o lugar p_8 possui uma ficha e o evento “mudança do modo automático para manual” ocorre ou o evento “mudança do modo de operação para OFF” ocorre. O disparo da transição t_{26} faz com que o lugar p_8 perca uma ficha, com isso a

contagem de tempo associada ao lugar p_8 é cancelada evitando o disparo da transição t_{12} . Se o evento “mudança do modo automático para manual” ou “mudança do modo de operação para OFF” ocorresse e o lugar p_8 continuasse com uma ficha a transição t_{12} iria disparar 5 segundos após o lugar p_8 ter ganhado uma ficha. Com o disparo de t_{12} o lugar p_8 iria perder uma ficha e o lugar p_{13} iria ganhar uma ficha, com isso a ação de nível “ligar a bomba de água” associada ao lugar p_{13} seria realizada, o que não é desejado quando ocorre a mudança do modo de operação de automático para manual ou para o modo OFF, pois o retardo para a partida da bomba só é desejado no modo automático de operação.

Receptividades	Descrição	Receptividades	Descrição
R1	Botão supervisorio Auto/Manual	R12	delay 5s
R2	Botão supervisorio Auto/Manual	R13	Botão supervisorio Abrir AH02
R3	Botão supervisorio ON/OFF	R14	Mudança do Modo Manual para Auto Mudança do Modo ON para OFF
R4	AH01 Fechada E AH02 Fechada E AH03 Fechada E AH04 Fechada E BBA A.H.Desligada E NÃO Nível do Tanque A.H. BB Baixo E NÃO Nível do Tanque A.H. BE Alto E Inclinação >1grau BB	R15	Botão supervisorio Fechar AH02
		R16	Botão supervisorio Abrir AH03
		R17	Mudança do Modo Manual para Auto Mudança do Modo ON para OFF
		R18	Botão supervisorio Fechar AH03
R5	AH01 Fechada E AH02 Fechada E AH03 Fechada E AH04 Fechada E BBA A.H. Desligada E Não Nível do Tanque A.H. BE Baixo E Não Nível do Tanque A.H. BB Alto E Inclinação >1grau BE	R19	Botão supervisorio ligar Bomba A.H
		R20	Mudança do Modo Manual para Auto Mudança do Modo ON para OFF
		R21	Botão supervisorio desligar Bomba A.H.
		R22	Zero grau ou Nível do Tanque A.H. BB Baixo ou Nível do Tanque A.H. BE Alto
R6	Botão supervisorio Abrir AH01	R23	Zero grau ou Nível do Tanque A.H. BE Baixo ou Nível do Tanque A.H. BB Alto
R7	Mudança do Modo Manual para Auto Mudança do Modo ON para OFF	R24	Botão supervisorio ON/OFF
R8	Botão supervisorio Fechar AH01	R25	Botão supervisorio ON/OFF
R9	Botão supervisorio Abrir AH04	R26	Mudança do Modo Auto para Manual Mudança do Modo ON para OFF
R10	Mudança do Modo Manual para Auto Mudança do Modo ON para OFF		
R11	Botão supervisorio Fechar AH04		

Tabela 1: Lista das Receptividades associadas às transições da RPIC do Sistema Anti-Heeling

Lugar	Ação/Estado	Lugar	Ação/Estado
P1	Modo Manual	P4	Ausência do comando Abrir AH01
P2	Modo Automático Bit botão supervisorio Abrir AH01 =0 Bit botão supervisorio Abrir AH02 =0 Bit botão supervisorio Abrir AH03 =0 Bit botão supervisorio Abrir AH04 =0 Bit botão supervisorio Ligar BBA =0	P5	Comando Abrir AH01
		P6	Ausência do comando Abrir AH04
		P7	Comando Abrir AH04
		P8	t=5s
		P9	Comando Abrir AH02
P3	Modo OFF Bit botão Auto/Manual = 0 Bit botão supervisorio Abrir AH01 =0 Bit botão supervisorio Abrir AH02 =0 Bit botão supervisorio Abrir AH03 =0 Bit botão supervisorio Abrir AH04 =0 Bit botão supervisorio Ligar BBA =0	P10	Ausência do comando Abrir AH02
		P11	Comando Abrir AH03
		P12	Ausência do comando Abrir AH03
		P13	Comando Ligar Bomba A.H.
		P14	Ausência do Comando Ligar Bomba

Tabela 2: Tabela com as ações/estado associados aos lugares da RPIC do Sistema Anti-Heeling.

Na Figura 19 está representada a matriz de incidência de entrada da RPIC da Figura 18 e na Figura 20 está representada a matriz de incidência da RPIC da Figura 18. Essas matrizes serão utilizadas durante o desenvolvimento do programa *ladder*.

$$W_{entrada} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Figura 19: Matriz de Incidência de entrada da RPIC do sistema Anti-Heeling

$$W = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 20: Matriz de incidência da RPIC do sistema Anti-Heeling

4.2 Elementos do programa *Ladder*

Nessa seção serão apresentados os elementos utilizados para desenvolver o programa *ladder* que foi implementado no *software RSLogix*, e a lógica de funcionamento de cada elemento. Esta seção foi desenvolvida baseada na referência [7].

No desenvolvimento do programa *ladder* foram utilizados contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados, bobinas, bobinas do tipo latch e unlatch, temporizadores, contatos OSR (one shoot rise) e comparadores. Na Figura 21 é apresentado o símbolo do contato normalmente aberto, na Figura 22 é apresentado o símbolo do contato normalmente fechado e na Figura 23 é apresentado o símbolo da bobina.

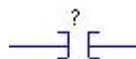


Figura 21: Contato normalmente aberto.

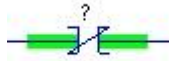


Figura 22: Contato normalmente fechado.

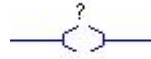


Figura 23: Bobina.

A bobina latch é utilizada para manter o nível lógico de uma variável associada a ela em 1 desde o momento em que a condição da linha é verdadeira. A variável associada a esta bobina só volta a ter o valor zero quando a linha lógica de uma bobina unlatch associada a esta variável é verdadeira. Na Figura 24 e Figura 25 são apresentados os símbolos da bobina *latch* e *unlatch* respectivamente.

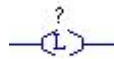


Figura 24: Bobina latch.

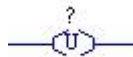


Figura 25: Bobina unlatch.

O contato OSR é utilizado antes de uma bobina quando se deseja que a variável associada à bobina tenha o valor lógico 1 durante apenas um ciclo de varredura. Quando a condição da linha é verdadeira o contato OSR permite a energização desta bobina por apenas um ciclo de varredura, mesmo que a condição da linha ainda seja verdadeira no próximo ciclo de varredura. Para uma nova energização desta bobina é necessário que a condição da linha volte para falsa e mude novamente para verdadeira. Na Figura 26 é apresentado o símbolo do contato OSR.

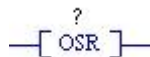


Figura 26: Contato OSR.

O temporizador *Timer On Delay* (TON) começa a contar o tempo quando a condição da linha antes do temporizador é verdadeira. O bit EN permanece energizado enquanto a condição de linha é verdadeira e é desenergizado quando a condição da linha se torna falsa. O bit DN é energizado quando o valor acumulado é igual ao valor do *preset* (valor desejado)

e é desenergizado quando a condição da linha se torna falsa. Na Figura 27 é apresentado o símbolo do TON.

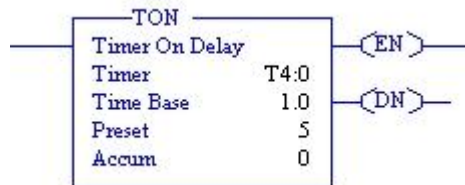


Figura 27: Temporizador *Timer On Delay*.

O comparador maior ou igual (GEQ) possui duas variáveis, A e B, se A é maior ou igual a B, a condição é verdadeira e este comparador funciona como um contato fechado, caso contrário o comparador funciona como um contato aberto. Na Figura 28 é apresentado o símbolo do comparado GEQ.

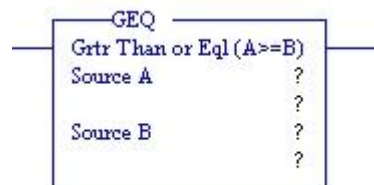


Figura 28: Comparador maior ou igual.

Comparador menor ou igual (LEQ) também possui duas variáveis, A e B, se A é menor ou igual a B, a condição é verdadeira e este comparador funciona como um contato fechado, caso contrário o comparador funciona como um contato aberto. Na Figura 29 é apresentado o símbolo do comparador LEQ.

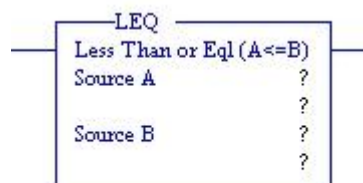


Figura 29: Comparador menor ou igual.

A instrução (END) é uma instrução incondicional que deve existir no fim do programa ladder.

4.3 Método de conversão de RPIC para *Ladder*

O método de conversão de RPIC para ladder apresentado nessa seção, foi desenvolvida baseada na referência [1].

O método descrito nessa seção é baseado na **Error! Reference source not found.** apresentada no capítulo 2. Esse método consiste em dividir o programa *ladder* em 4 módulos. O primeiro módulo está associado com a inicialização da rede de Petri, isto é, ele define a marcação inicial da rede de Petri. O segundo módulo está associado às condições para o disparo das transições, que estão associadas às receptividades das transições e a matriz de incidência de entrada. O terceiro módulo descreve a evolução das fichas na rede de Petri utilizando a matriz de incidência. E finalmente o quarto módulo define as ações a serem tomadas. Os quatro módulos do program *ladder* são o Módulo de inicialização, o Módulo das condições para o disparo das transições; o Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle e o Módulo das ações.

4.3.1 Módulo de inicialização

No módulo de inicialização, a primeira linha do programa *ladder* descreve a inicialização da rede de Petri. Essa linha contém um contato normalmente fechado associado a uma variável binária interna. Este contato no primeiro ciclo de varredura energiza bobinas do tipo *latch* associadas aos lugares da RPIC que possuem uma ficha inicialmente e uma bobina do tipo *latch* associada à sua variável binária interna. Após o primeiro ciclo de varredura o contato normalmente fechado abre.

4.3.2 Módulo das condições para o disparo das transições

O módulo das condições para o disparo das transições descreve as condições presentes na matriz de incidência de entrada da rede de Petri e as receptividades. Esse módulo possui m linhas, onde cada linha corresponde às condições para o disparo das transições.

Para representar o disparo de uma transição t_j a expressão booleana que descreve a receptividade R_j (implementada com a simples associação de contatos normalmente fechados e normalmente abertos) é conectada em série com as condições dos lugares de entrada de t_j (implementada com a simples associação em série de contatos normalmente abertos). Cada linha possui uma bobina associada a uma transição t_j , assim, quando as condições para o disparo da transição são satisfeitos essa bobina é energizada.

4.3.3 Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle

Após o disparo de uma transição t_j , a marcação da rede de Petri deve ser atualizada. Esse processo é descrito pela equação de estados da rede de Petri. Desta forma, para a construção do módulo que representa a dinâmica da rede de Petri, é utilizada a sua matriz de incidência. Esse módulo possui m linhas, onde cada linha é associada a uma transição e expressa a mudança na marcação dos lugares após o disparo de uma transição. No programa ladder um contato normalmente aberto é associado a uma transição t_j , e quando t_j dispara, este contato fecha energizando bobinas do tipo *latch* e *unlatch*. As bobinas do tipo *latch* são associadas aos lugares que ganham uma ficha após o disparo da transição t_j e as bobinas do tipo *unlatch* são associadas aos lugares que perdem um ficha após o disparo da transição t_j .

4.3.4 Módulo das ações

Em uma RPIC os lugares estão associados às ações. Assim, no módulo das ações, um contato normalmente aberto é associado a um lugar que possui uma ação e bobinas colocadas uma a uma em série com este contato representam as ações associadas a este lugar, como por exemplo, uma saída *digital* para acender uma lâmpada. Este contato também pode estar em série com um temporizador, controlando quando o mesmo deve iniciar a temporização. Nesse módulo o número de linhas depende do número de lugares que possuímos ações associadas.

4.4 Programa *Ladder* RPIC Figura 11

Nessa seção serão apresentados os quatro módulos do programa ladder que foram obtidos aplicando-se a técnica de conversão de RPIC para ladder, apresentada na seção 4.3, na rede de Petri interpretada para controle da Figura 11. O programa *Ladder* obtido a partir da RPIC do sistema *Anti-Heeling* está apresentado no Apêndice A.

4.4.1 Módulo de inicialização

Na Figura 30 está representado o módulo de inicialização, obtido utilizando-se a técnica de conversão de RPIC para ladder, na RPIC da Figura 11.

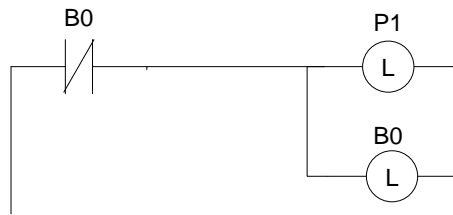


Figura 30: Módulo de inicialização para a RPIC da figura 11

4.4.2 Módulo das condições para o disparo das transições

Na Figura 31 está representado o módulo das condições para o disparo das transições, obtido utilizando-se a técnica de conversão de RPIC para ladder, na RPIC da Figura 11.

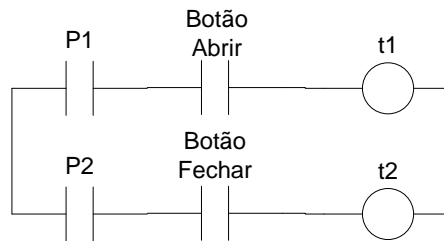


Figura 31: Módulo das condições para o disparo das transições para a RPIC da figura 11

4.4.3 Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle

Na Figura 32 está representado o módulo da dinâmica da RPIC da Figura 11, obtido utilizando-se a técnica de conversão de RPIC para ladder.

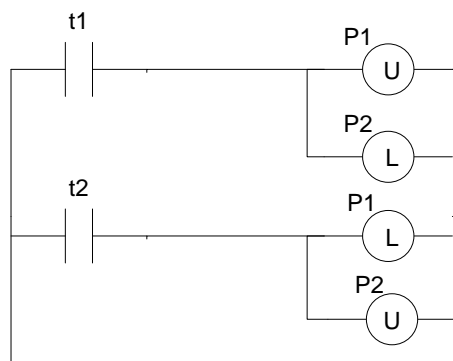


Figura 32: Módulo da dinâmica da RPIC da figura 11

4.4.4 Módulo das ações

Na Figura 33 está representado o módulo das ações, obtido utilizando-se a técnica de conversão de RPIC para ladder, na RPIC da Figura 11.



Figura 33: Módulo das ações para a RPIC da figura 11

4.5 Conclusões

A automação do sistema Anti-Heeling foi modelado por uma rede de petri interpretada para controle. A RPIC foi modelada visando descrever o comportamento das ações de nível que o sistema deve realizar de acordo com a ocorrência dos eventos externos. Aos lugares foram associadas ações de nível e as transições foram sincronizadas com eventos e condições externas e temporizações, obtendo-se assim a interpretação para controle desse sistema.

Capítulo 5: Construção do sistema de supervisão

No capítulo 5 serão apresentados os passos para a construção do sistema de supervisão do sistema *Anti-Heeling* utilizando o *software RSView32*. Na seção 5.1 são apresentadas as descrições das animações do sistema de supervisão, na seção 5.2 é apresentada a definição de uma *tag*, na seção 5.3 é apresentado o *tag database editor*, que será utilizado para criar as *tags*, na seção 5.4 é apresentado os passos para a configuração de uma *tag*, na seção 5.5 é apresentado os passos para a criação de uma tela gráfica e sua configuração, e os passos para acessar as bibliotecas de telas gráficas e objetos gráficos existentes no *software RSView32*, na seção 5.6 são apresentadas as ferramentas utilizadas para construir a animação do sistema de supervisão. As seções 5.2 a 5.6 deste capítulo foram desenvolvidas baseadas na referência [5].

5.1 Descrição da animação do Sistema de supervisão

Nesta seção será descrita a animação desejada de cada objeto das telas do sistema de supervisão de acordo com o estado dos equipamentos do sistema.

5.1.1 Sistema Anti-Heeling

A seguir serão apresentadas as descrições das animações dos objetos que representam os equipamentos do sistema Anti-Heeling no sistema de supervisão.

a) Cor das válvulas

O objeto utilizado para representar uma válvula no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 34. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:

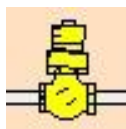


Figura 34: Objeto utilizada para representar uma válvula

- Amarela quando a válvula estiver fechada;
- Piscando entre amarelo e cinza quando a válvula estiver abrindo ou fechando;
- Verde quando a válvula estiver aberta;
- Piscando entre vermelho e cinza quando estiver em qualquer outro estado.

b) Cor da Bomba *Anti-Heeling*

O objeto utilizado para representar uma bomba no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 35. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:

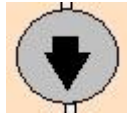


Figura 35: Objeto utilizado para representar a bomba de água

- Cinza quando a Bomba *Anti-Heeling* estiver desligada;
- Verde quando a Bomba *Anti-Heeling* estiver ligada.

c) Preenchimento dos tanques de acordo com o nível

O objeto utilizado para representar um tanque no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 36. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:

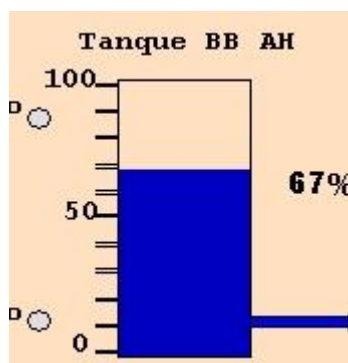


Figura 36: Objeto utilizado para representar um tanque

- Piscando entre vermelho e azul quando o nível do tanque estiver entre 0% e 15%;
- Azul quando o nível do tanque estiver entre 15% e 95%;
- Piscando entre vermelho e azul quando o nível do tanque superar 95%.

d) Indicação das chaves de nível dos tanques BB *Anti-Heeling* e BE *Anti-Heeling*

O objeto utilizado para representar a indicação das chaves de nível no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 37. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:

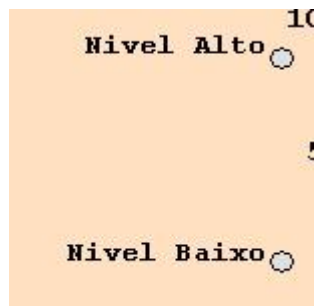


Figura 37: Objeto utilizado para a indicação de nível alto e nível baixo dos tanques

- Piscando entre vermelho e cinza quando o evento Nível Alto ou Nível Baixo ocorrer;
- Caso contrário, Cinza.

e) Indicador de inclinação

O objeto utilizado para representar a indicação da inclinação do navio no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 38 e na Figura 39. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:

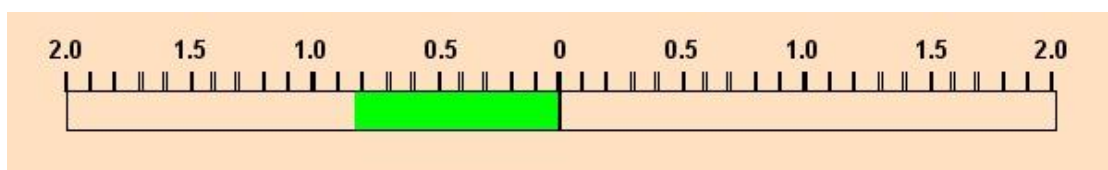


Figura 38: Objeto utilizado para indicar a inclinação do navio

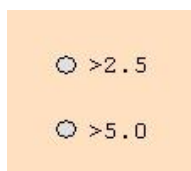


Figura 39: Indicação de inclinação maior que 2,5 e 5,0 graus

- Indica a inclinação de 2 graus para bombordo a 2 graus para boreste, preenchendo o indicador na cor verde até a inclinação medida;
- Inclinação maior que 2,5 graus: o indicador de ângulo maior que 2,5 graus pisca entre vermelho e cinza;
- Inclinação maior que 5,0 graus: indicador de ângulo maior que 5,0 graus pisca entre vermelho e cinza.

f) Botão de seleção dos modos automático e manual

O objeto utilizado para representar o botão de seleção do modo de operação do sistema *Anti-Heeling* no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 40 com o modo

automático de operação selecionado e na Figura 41 no modo manual de operação selecionado. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:



Figura 40: Botão de seleção do modo de operação Automático/Manual no modo Auto



Figura 41: Botão de seleção do modo de operação Automático/Manual no modo Manual

- Quando o modo manual está selecionado, o botão possui a descrição Manual;
- Quando o modo automático está selecionado, o botão possui a descrição Auto.

g) Botão para abrir a tela do Sistema de Lastro

O objeto utilizado para representar o botão que tem a função de abrir a tela do sistema de lastro a partir da tela do sistema *Anti-Heeling* no sistema de supervisão está ilustrado na Figura 42. A animação desejada para este objeto está descrita a seguir:



Figura 42: Botão utilizado para abrir a tela do sistema de lastro

- Quando o botão é pressionado, a tela do Sistema de Lastro deve abrir.

h) Tela para comando manual das válvulas

A Figura 43 mostra a tela de operação manual de uma válvula e seus componentes. Os passos para abrir essa tela e a função de seus componentes estão descritos a seguir:



Figura 43: Tela para operação manual das válvulas

- Quando o operador clica com o botão direito do mouse sobre uma válvula a tela de comando manual da válvula deve abrir.
 - Esta tela possui os botões Abrir e Fechar para operação manual das válvulas quando se pressiona estes botões, bem como as indicações de Aberta, Fechada, e Comando para Abrir.
- i) Tela para comando manual da Bomba *Anti-Heeling*

A Figura 44 mostra a tela de operação manual da bomba do sistema *Anti-Heeling* e seus componentes. Os passos para abrir essa tela e a função de seus componentes estão descritos a seguir:



Figura 44: Tela para operação manual da bomba *Anti-Heeling*

- Quando o operador clica com o botão direito do mouse sobre a Bomba *Anti-Heeling* a tela de comando manual da Bomba *Anti-Heeling* deve abrir.
- Esta tela possui os botões Ligar e Desligar para comando manual da bomba quando se pressiona estes botões, bem como as indicações de Ligada, Desligada, e comando para Ligar.

5.1.2 Sistema de Lastro

A descrição das animações dos objetos do sistema de lastro (válvulas, tanques e bomba), é igual à descrição dos objetos do sistema *Anti-Heeling*.

5.2 Tag database

Para construir um sistema de supervisão além de desenvolver a parte gráfica do mesmo, é necessário construir uma lista com as variáveis que se deseja monitorar (*tag database*). Através das ferramentas de animação é possível associar essas variáveis aos objetos gráficos e assim construir a dinâmica da animação dos objetos gráficos.

Uma *tag* é um nome lógico para uma variável em um PLC ou na memória local. Por exemplo, uma *tag* pode representar uma variável de um processo em um CLP. O valor de uma *tag*, quando requerido, é atualizado do CLP no qual o sistema de supervisão está conectado e armazenado na memória do computador (*value table*). Sendo assim, o valor desta *tag* é imediatamente acessível por todas as partes do *RSView32*. Por exemplo, *displays* gráficos utilizam os valores das *tags* para controlar animações. Na *tag database* são definidas as informações/variáveis que se deseja monitorar. Cada entrada na base de dados é chamada de *tag*.

5.2.1 Tipos de *tags*

As *tags* podem ser do tipo *Analog* (analógica), *Digital* ou *String*. As *tags* do tipo *analog* podem representar uma larga faixa de valores de uma variável, como temperatura. As do tipo *digital* podem representar dispositivos que somente tem os estados *on* ou *off*, como chaves e contatos. E as do tipo *string* podem representar dispositivos que usam texto, como leitor de código de barras. Além dessas o *RSView32* cria *tag* internas quando um projeto é criado, estas *tags* são do tipo *System*.

5.2.2 Fonte de dados

Quando se define uma *tag*, é necessário especificar uma fonte de dados (*data source*). Esta fonte determina de onde a *tag* recebe seu valor, externamente ou internamente. Esta fonte pode ser um *Device* ou *Memory*. Quando uma *tag* tem um *device* como fonte de dados, ela recebe o valor de um dispositivo externo ao *RSView32*, como um CLP. E quando uma *tag* tem a memória (*Memory*) como fonte de dados, ela recebe o valor diretamente da memória do *RSView32*.

5.3 O *Tag Database Editor*

Quando um projeto novo é criado a tela do *Project Manager* é aberta, como mostra a Figura 45. Para abrir o *Tag Database Editor*, na tela do *Project Manager*, abra a pasta *System* e com um clique duplo no ícone *Tag Database*, o *Tag Database Editor* é aberto, ou clique com o botão esquerdo no ícone *Tag Database* e clique em *Show*. A tela da Figura 46 irá aparecer.

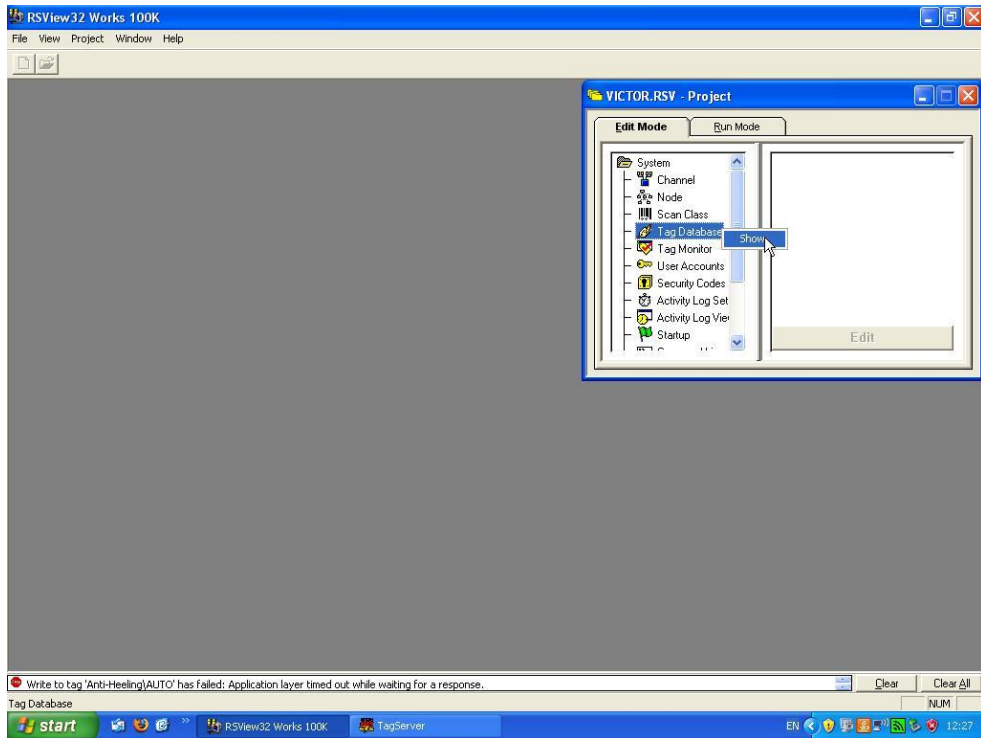


Figura 45: Abrindo o *Tag Database Editor*.

O *Tag Database Editor*, mostrado na Figura 46, tem as seguintes partes:

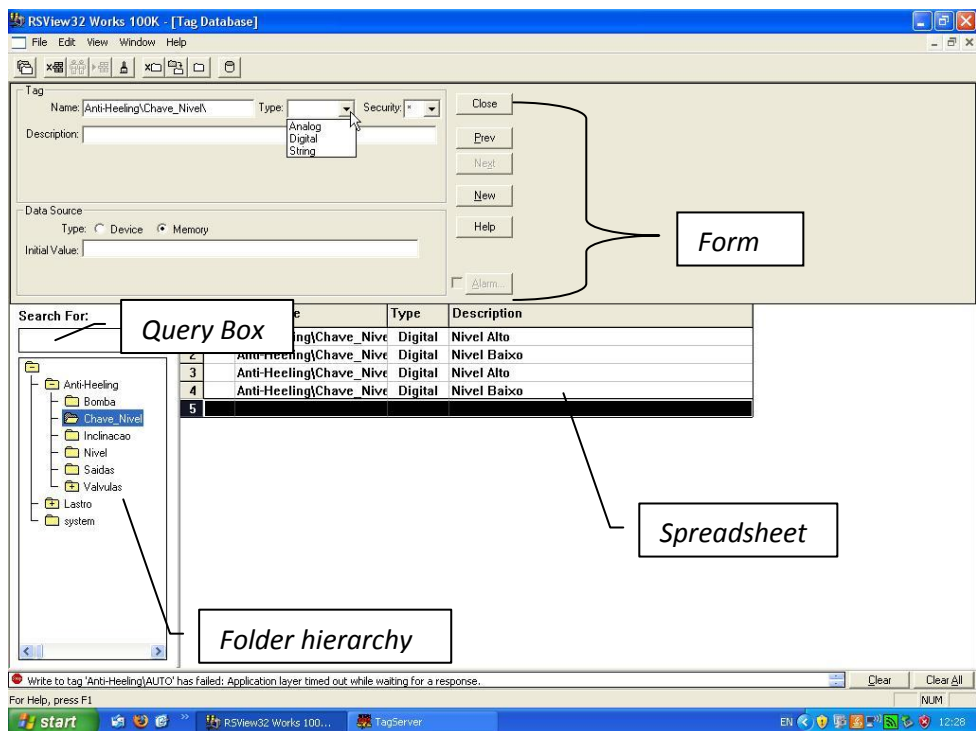


Figura 46: Tela do *Tag Database Editor*.

- *Form*: Esta parte é utilizada para criar a *tag*. Na parte superior se define as características básicas da *tag*, como o nome da *tag*, tipo, segurança, e características

específicas, de acordo com o tipo de *tag*. Na parte inferior é definida a fonte dos valores das *tags*. Durante a configuração de uma *tag* os botões *Prev* e *Next* são substituídos pelos botões *Accept* e *Discard*

- *Query Box*: Utilize a *query box* para selecionar as *tags* que se deseja mostrar na *spreadsheet*.
- *Folder hierarchy*: Nesta área podem ser criadas pastas onde serão criadas as *tags*. Selecionando uma destas pastas, as *tags* que estão dentro dela serão mostradas na *spreadsheet*.
- *Spreadsheet*: É o local aonde é possível visualizar as *tags*.

5.4 Configurando uma *tag*

Este tópico descreve como configurar as *tags* do tipo *analog*, *digital*, e *string* e a fonte de dados para as *tags*. Após a configuração do tipo e da fonte de dados da *tag*, o botão *Accept* deve ser pressionado para finalizar a criação da *tag*. A configuração de uma *tag* é realizada através do *tag database editor*.

5.4.1 Configurando uma *tag* do tipo *Analog*

Será utilizado como exemplo a configuração da *tag* que representa o nível do tanque Número1.

- Passo 1: Se a *tag* é parte de uma pasta, selecione a pasta. O nome da pasta aparece no campo *Name field* e é parte do nome da *tag*. Para este exemplo foi selecionada a pasta *LastroNivel_Tanque*.
- Passo 2: Digite o nome da *tag*. Se a *tag* é parte de uma pasta, digite o nome após a contra-barras (\). O nome da *tag* depois da contra barra é *N1*.
- Passo 3: No campo *Type*, selecione *Analog*.
- Passo 4: Utilize o campo *Security* se desejar restringir o acesso a esta *tag*. No desenvolvimento deste projeto esta função não foi utilizada.
- Passo 5: No campo *Description* digite uma descrição para esta *tag* de até 128 caracteres. A descrição para esta *tag* é *Tanque N.1*.

- Passo 6: No campo *Minimum* (Mínimo) e *Maximum* (Máximo) digite os valores mínimos e máximos que podem ser escritos no PLC. Estes valores não afetam os valores que são lidos do PLC. O valor desta variável será na faixa de 3277 a 16384.
- Passo 7: No campo *Scale* (escala) digite um número diferente de zero. Para desabilitar a escala digite um. No campo *offset* digite um numero. Para desabilitar o *offset* digite zero.

Os valores no campo *scale* e *offset* modificam os dados que vem do PLC da seguinte forma:

$$RSView32 \text{ value} = (\text{PLC value} \times \text{scale}) + \text{offset}$$

O sensor utilizado para a medição do nível do tanque N.1 tem como saída um sinal de corrente que varia de 4 a 20mA. O CLP possui um conversor de 14 bits para converter os valores de corrente medidos nas entradas analógicas em valores numéricos, desta forma, o valor do sinal de corrente de que varia de 4 a 20mA é convertido para um valor numérico na faixa de 3277 a 16384. A faixa de valores desejado para a *tag* que representa o nível do tanque Numero 1 no sistema de supervisão é de 5 a 100, visto que os sensores de nível estão montados a uma altura de 5% da altura do taque. Assim o valor de escala utilizado foi de 7.2480354e-3 e o valor do *offset* foi de -18.7518.

- Passo 8: No campo *Units* (Unidade) digite um texto de até 20 caracteres para descrever a unidade.
- Passo 9: No campo *Data Type* selecione *Default*. Como o *Device* é um PLC o *RSView32* irá associar o formato dos dados de acordo com o endereço físico da variável no PLC.
- Passo 10: No campo *Data Source* (fonte de dados) selecione *Device*.
- Passo 11: Selecione um *node name*, ou seja, o CLP no qual a variável que se deseja monitorar está conectada. Neste caso foi selecionado o *node name* "PLC".
- Passo 12:Selecione um *scan class*, ou seja a frequência que o *RSView32* irá atualizar o valor da variável que se deseja monitorar. Foi selecionado A para todas as *tags*, desta forma todas as *tags* terão seus valores atualziados a cada ciclo de varredura.

- Passo 13: No campo *address* especifique o endereço físico da variável no CLP. Neste exemplo a variável é a N7:4.

A Figura 47 mostra a tela de configuração de uma *tag* analógica, no caso a *tag* que representa o nível do tanque N.1.

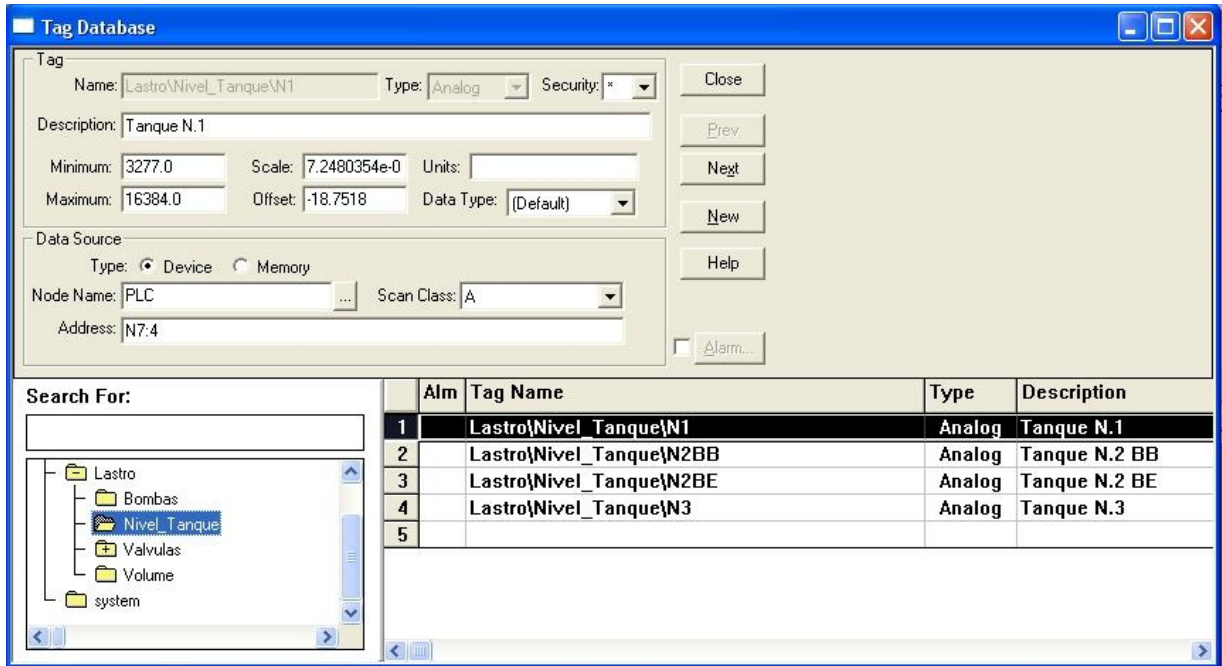


Figura 47: Configuração de uma *tag* analógica

5.4.2 Configurando uma *tag* do tipo *Digital*

Como exemplo, será utilizada a *tag* que indica o estado aberta da válvula AH01.

- Passo 1: Se a *tag* é parte de uma pasta, selecione a pasta. O nome da pasta aparece no campo *Name field* e é parte do nome da *tag*. Neste caso foi selecionada a pasta *Anti-Heeling\Valvulas\Aberta*.
- Passo 2: Digite o nome da *tag*. Se a *tag* é parte de uma pasta, digite o nome após a contra-barras (\). Foi digitado o nome para esta *tag*, AH01.
- Passo 3: No campo *Type*, selecione *Digital*.
- Passo 4: Utilize o campo *Security* se desejar restringir o acesso a esta *tag*. Não foi selecionado este campo.
- Passo 5: No campo *Description* digite uma descrição para esta *tag* de até 128 caracteres. Neste campo foi digitado a descrição, AH01.

- Passo 6: Nos campos *Off Label* e *On Label* digite um texto com até 20 caracteres para descrever o estado *off* (*Value=0*) e o estado *On* (*Value=1*). As descrições devem ser diferentes e pelo menos um estado deve ser descrito, o outro pode ficar em branco. O campo *Off Label* foi deixado em branco e no campo *On Label* foi escrito *Aberta*.
- Passo 10: No campo *Data Source* (fonte de dados) selecione *Device*.
- Passo 11: Selecione um *node name*, ou seja, o CLP no qual a variável que se deseja monitorar está conectada. Neste caso foi selecionado o *node name* “*PLC*”.
- Passo 12: Selecione um *scan class*, ou seja a frequência que o *RSView32* irá atualizar o valor da variável que se deseja monitorar. Foi selecionado *A* para todas as *tags*, desta forma todas as *tags* terão seus valores atualizados a cada ciclo de varredura.
- Passo 13: No campo *address* especifique o endereço físico da variável no CLP. Neste exemplo a variável é a *B3:2/9*.

A Figura 48, mostra a tela de configuração de uma *tag digital*, no caso a *tag* que representa o estado aberta da válvula AH01.

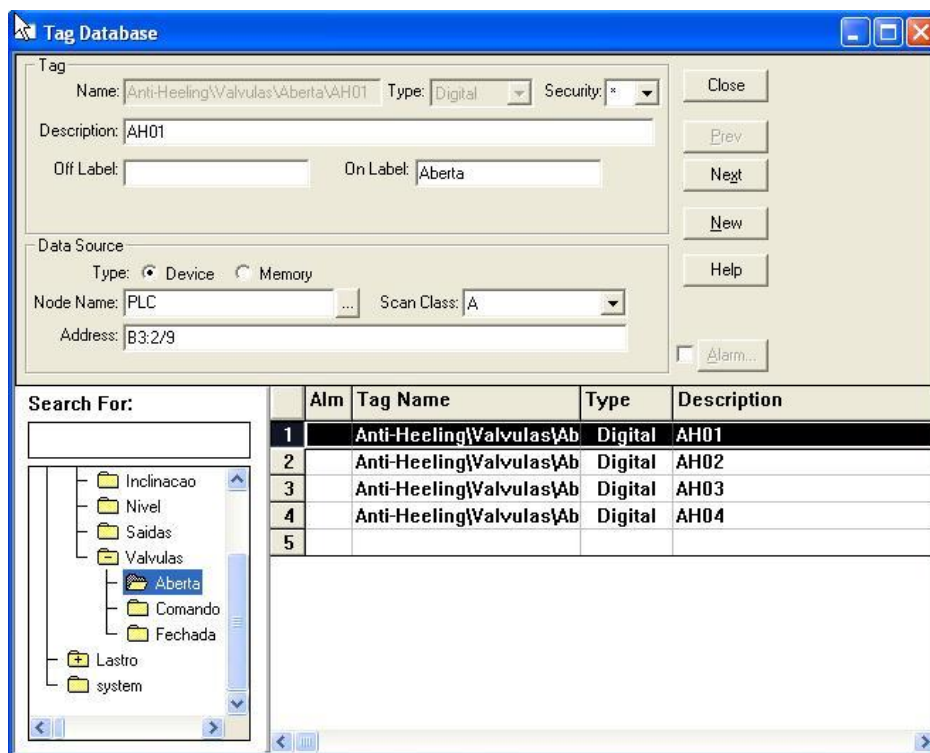


Figura 48: Configuração de uma *tag digital*.

5.5 Construção das telas gráficas

5.5.1 Telas gráficas e objetos gráficos

Uma tela gráfica (*graphic display*) representa a visão de uma planta de um processo. Esta tela mostra o processo e permite ao operador interferir no processo e visualizar o estado do mesmo. Os componentes que são utilizados para construir as telas gráficas são chamados de objetos gráficos.

5.5.2 O editor de tela gráfica

Para abrir um novo editor de tela gráfica, vá na tela Project Manager e abra a pasta Graphics, clique com o botão direito no ícone Display e então clique em New, como mostrado na Figura 49.

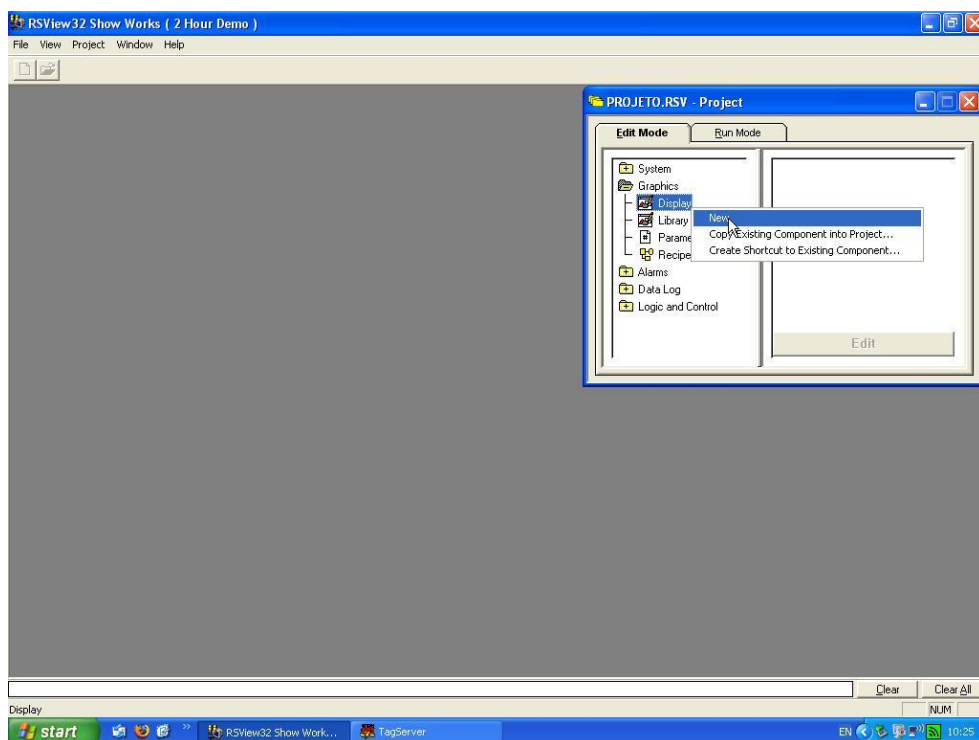


Figura 49: Criando uma nova tela gráfica

Os principais componentes de um editor de tela gráfica são mostrados na Figura 50.

- **Tool Bar** (Barra de Ferramentas): Possui botões para acesso rápido às funções mais usadas. Na Figura 50 é mostrado apenas uma barra de ferramentas porém, através do *menu view*,s é possível esconder ou mostrar outras barras de ferramentas.
- **Drawing Area**: É a área destinada para criação das telas gráficas.

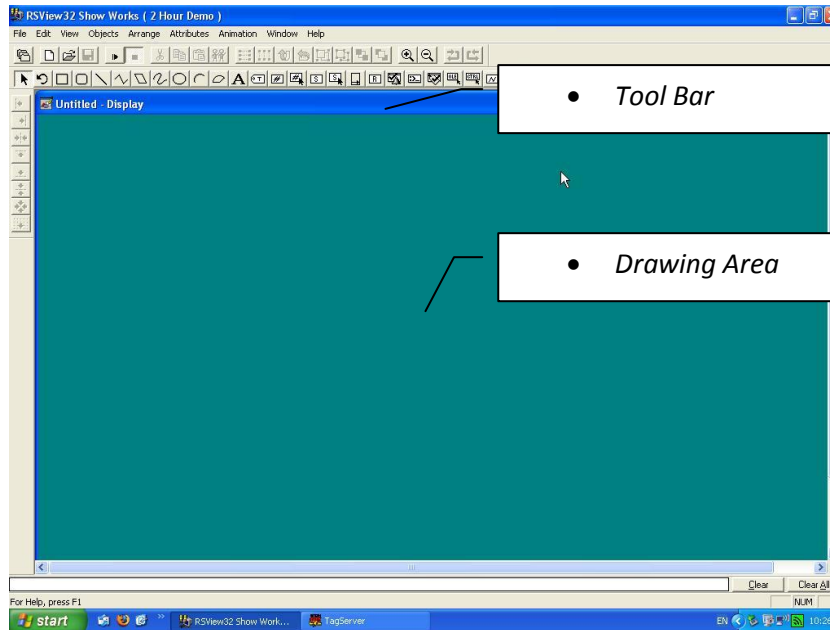


Figura 50: Principais componentes de uma tela gráfica

5.5.3 Configurando uma tela gráfica

Para configurar uma tela gráfica é utilizado o *Display Settings*. Para abrir o *Display Settings*, clique com o botão direito em uma área vazia da tela gráfica e então clique em *Display Settings* no *menu* que aparece. A tela do *Display Settings* possui duas abas, *Properties* e *Behavior*

Na aba *Properties* configuram-se algumas propriedades como: Tipo da tela (Replace, Overlay, On Top), Título da tela, Tamanho, Posição e Cor do plano de fundo, como pode ser visto na Figura 51.

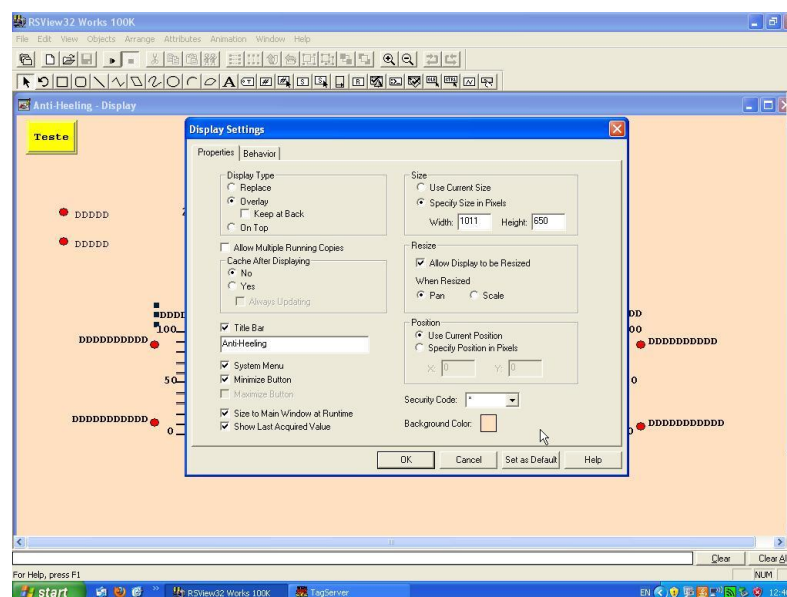


Figura 51: Aba *Properties* do *Display Settings*.

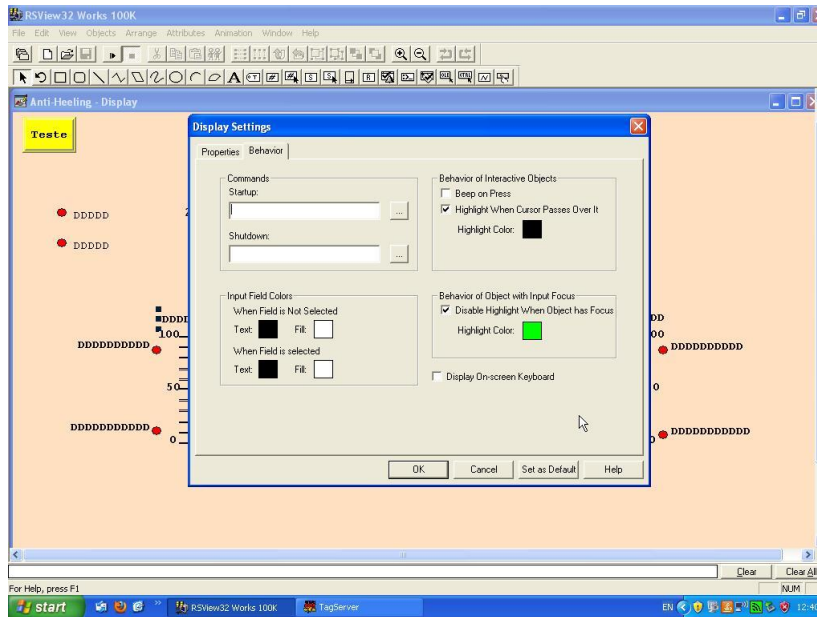


Figura 52: Aba Behavior do Display Settings.

Na aba *Behavior* configura-se o comportamento dinâmico da tela, como por exemplo, o destaque de um objeto quando se passa o cursor do mouse sobre o mesmo, como pode ser visto na Figura 52.

5.5.4 Bibliotecas gráficas

O *RSView32* possui um conjunto de bibliotecas que contém uma variedade de objetos gráficos e telas. Estes objetos gráficos e telas podem ser utilizados nos projetos, basta clicar sobre o objeto desejado, segurar e arrastar até a tela em desenvolvimento. Com o objeto desejado na tela em desenvolvimento este pode ser modificado.

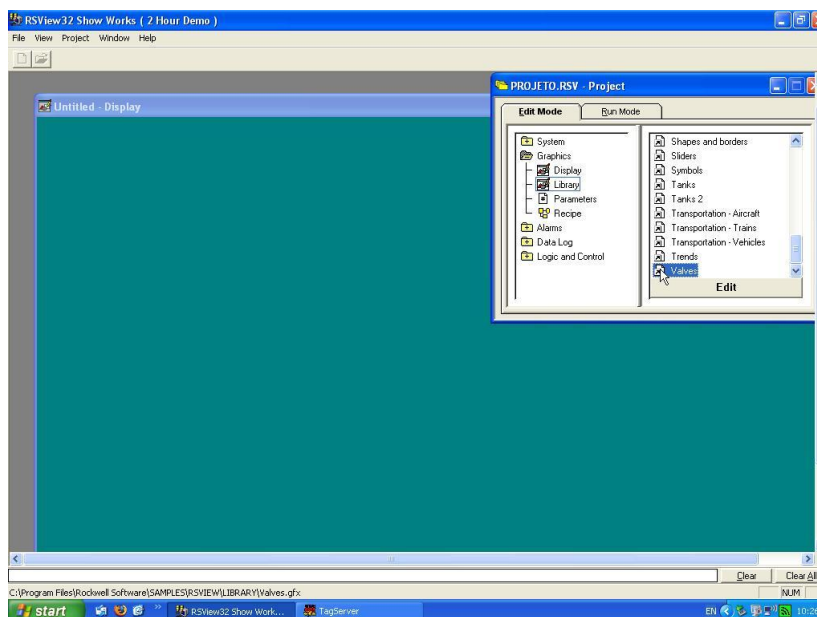


Figura 53: Abrindo a biblioteca Valves.

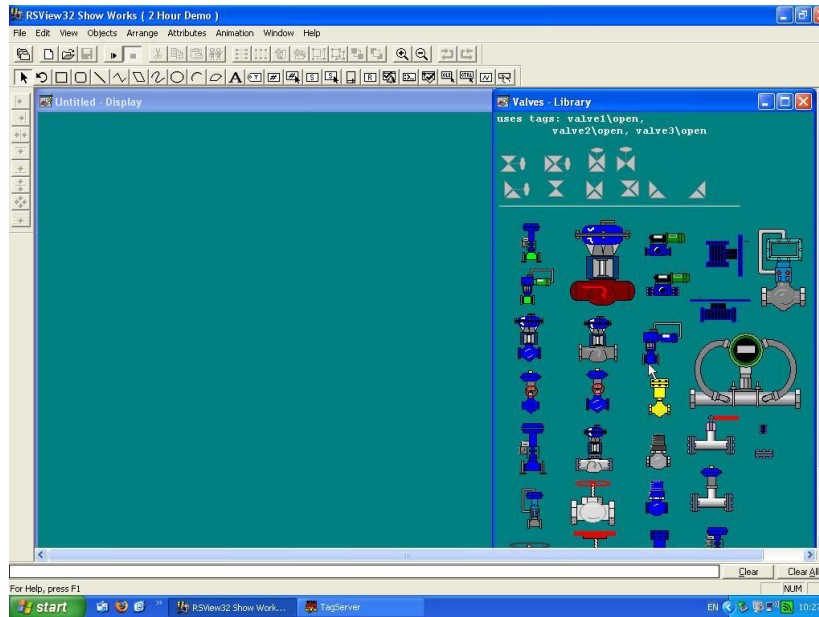


Figura 54: Biblioteca Valves

Para abrir, por exemplo, a biblioteca valves (válvulas), Figura 54, vá na tela Project Manager e abra a pasta Graphics, clique com o botão direito no ícone Library e então clique no ícone da biblioteca desejada, neste caso valves, como mostrado na Figura 53. A tela da biblioteca valves que pode ser vista na Figura 54, irá abrir

5.6 Animação dos objetos gráficos

A animação dos objetos gráficos é feita com base no valor de uma expressão, esta expressão pode ser uma única *tag* ou uma expressão construída com varias *tags* utilizando operadores lógicos, aritméticos, dentre outros.

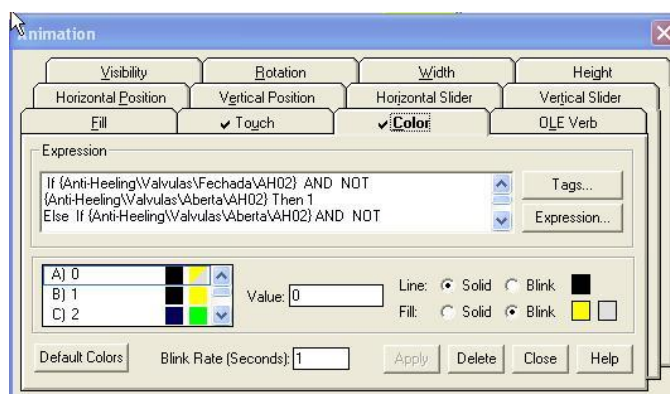


Figura 55: Tela de configuração de uma animação

Para escrever uma expressão abra a tela *animation*, a Figura 55 mostra essa tela, e pressione o botão *expression*. A tela que abre é mostrada na Figura 56, utilize os botões inferiores desta tela para incluir os operadores lógicos desejados. Para incluir uma *tag* em

uma expressão pressione o botão *Tags*, a tela da Figura 57 irá abrir, selecione uma *tag* da lista e clique em OK. A seguir serão apresentados os operadores utilizados.

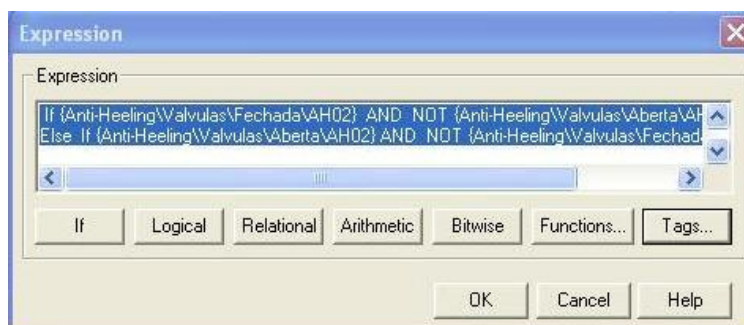


Figura 56: Tela *expression*

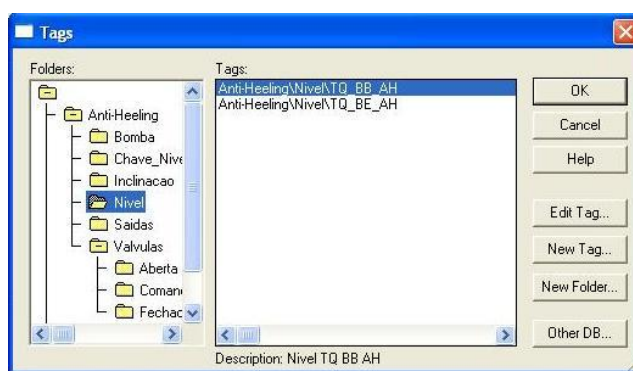


Figura 57: Tela com a lista das *tags*

a) Operadores aritméticos

Operadores aritméticos calculam os valores baseados em dois ou mais valores numéricos. Os operadores aritméticos e seus símbolos são mostrados na Tabela 3:

Operador	Símbolo
Adição	+
Subtração	-
Multiplicação	*
Divisão	/
Resto de uma divisão	MOD
Expoente	**

Tabela 3: Operadores Aritméticos

b) Operadores lógicos

Os operadores lógicos determinam a validade de uma ou mais sentença. O operador retorna um valor diferente de zero se a expressão é verdadeira, ou um valor zero se a expressão é falsa. Os operadores lógicos são mostrados na Tabela 4.

c) If–then–else

A sentença com *if-then-else* permite que em uma expressão se execute diferentes ações para diferentes situações. A estrutura *if-then-else* é:

If sentença1 then valor1 else if sentença2 then valor2 else valor 3.

Operador	
AND	Retorna o valor 1 se a sentença do lado direito e do lado esquerdo do operador for verdadeira, se não retorna o valor zero.
OR	Retorna o valor 1 se a sentença do lado direito e/ou a sentença do lado esquerdo do operador for verdadeira, se não retorna o valor zero.
NOT	Inverte o valor lógico de uma sentença. Se a sentença é verdadeira o operador retorna com valor zero e se é falsa retorna com o valor 1.

Tabela 4: Operadores lógicos.

5.6.1 Configurando a animação de um botão

Para criar um botão abra a biblioteca *Buttons* (Botões), uma tela com varias opções de botões irá aparecer, selecione o botão desejado e arraste com o mouse para a tela do sistema de supervisão. Aos botões associam-se ações para que quando os mesmos sejam pressionados ou voltarem a sua posição inicial executem estas ações. Para melhor entendimento será utilizado como exemplo a configuração do botão de seleção dos modos de operação, Manual/Automático, do sistema *Anti-Heeling*.

- a) Configuração do botão de seleção do modo de operação do Sistema *Anti-Heeling*
→ Passo 1: Selecione o botão escolhido e clique com o botão direito do mouse sobre ele, no *menu* que aparece, como pode ser visto na Figura 58, clique em *Edit Button*

- Passo 2: A tela da Figura 59 irá abrir. Na aba *general* selecione o estilo do botão. O estilo escolhido foi o *Raised*.
- Passo 3: Na aba *action*, como mostra a Figura 60, selecione a ação associada ao botão e a *tag* que irá receber esta ação. A Tabela 5 mostra as ações que podem ser associadas a um botão e a correspondente descrição. A ação escolhida foi *Toggle* e a *tag*, *Anti-Heeling\AUTO*.

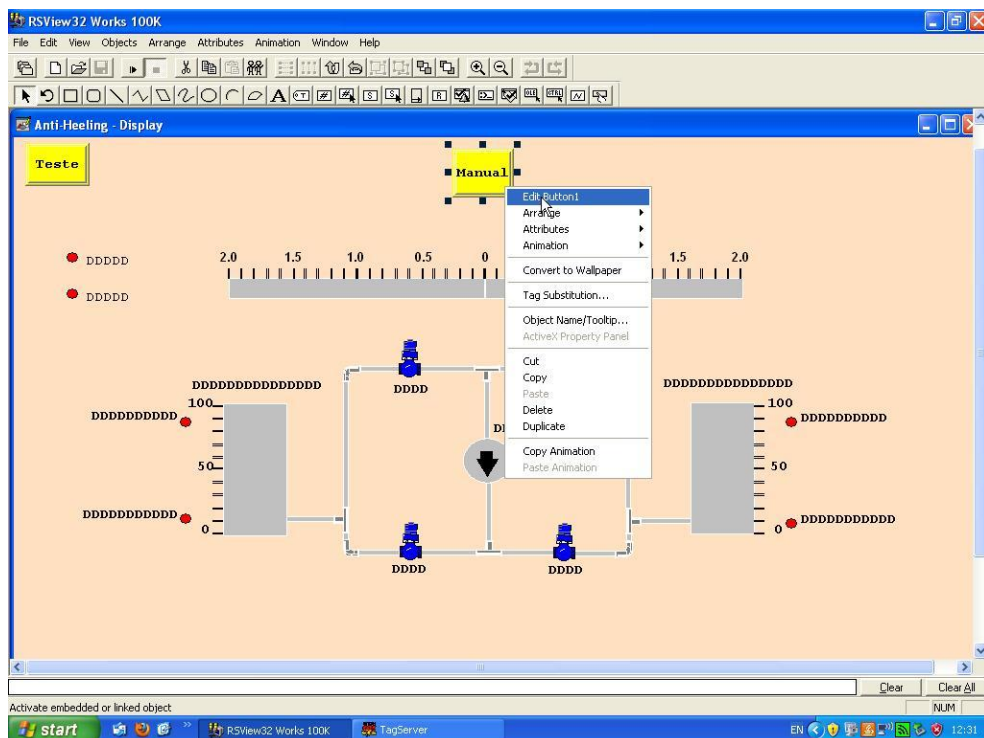


Figura 58: Passo 1 da configuração da animação de um botão

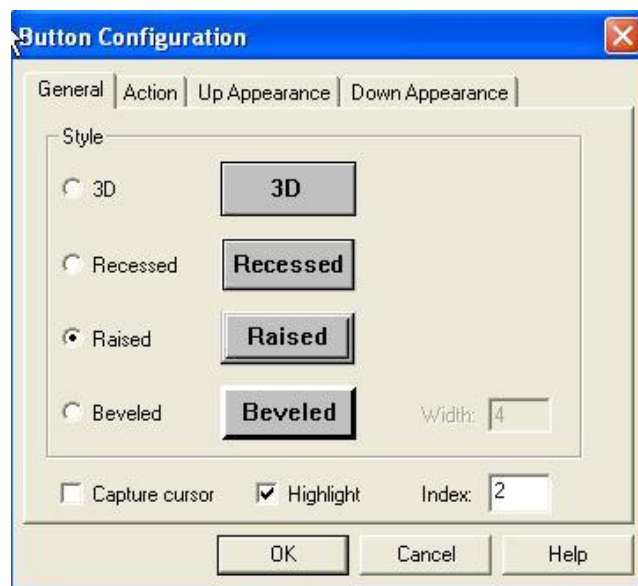


Figura 59: Passo 2 da configuração da animação de um botão

Ação	Descrição
Set	Quando o botão é pressionado e liberado, a <i>tag</i> associada recebe o valor 1.
Reset	Quando o botão é pressionado e liberado, a <i>tag</i> associada recebe o valor 0.
<i>Toggle</i>	A <i>tag</i> recebe o valor 1 se seu valor estiver em 0 quando o botão é pressionado, e recebe o valor 0 se seu valor estiver em 1 quando o botão é pressionado.
<i>Momentary on</i>	A <i>tag</i> recebe o valor 1 quando o botão é pressionado, recebe o valor 0 quando o botão é liberado.
<i>Momentary off</i>	A <i>tag</i> recebe o valor 0 quando o botão é pressionado, recebe o valor 1 quando o botão é liberado.
<i>Command</i>	Executa um comando específico.

Tabela 5: Ações associadas a um botão.

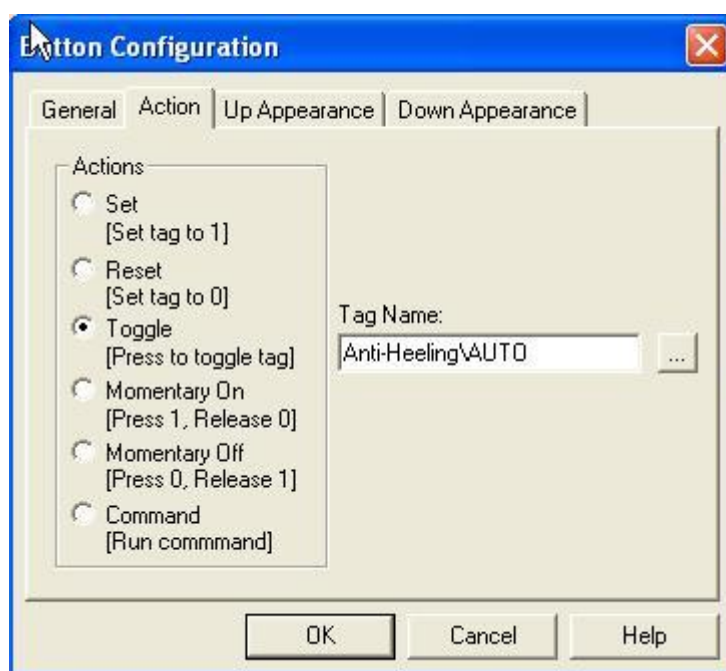


Figura 60: Passo 3 da configuração da animação de um botão

- Passo 4: Na aba *Up Appearance*, Figura 61, digite o nome e selecione a cor do nome que irá aparecer no botão e a cor do botão quando ele não estiver pressionado. Como o modo de operação na condição inicial é manual, a aparência do botão irá ter a descrição Manual em preto e o botão terá a cor amarela.

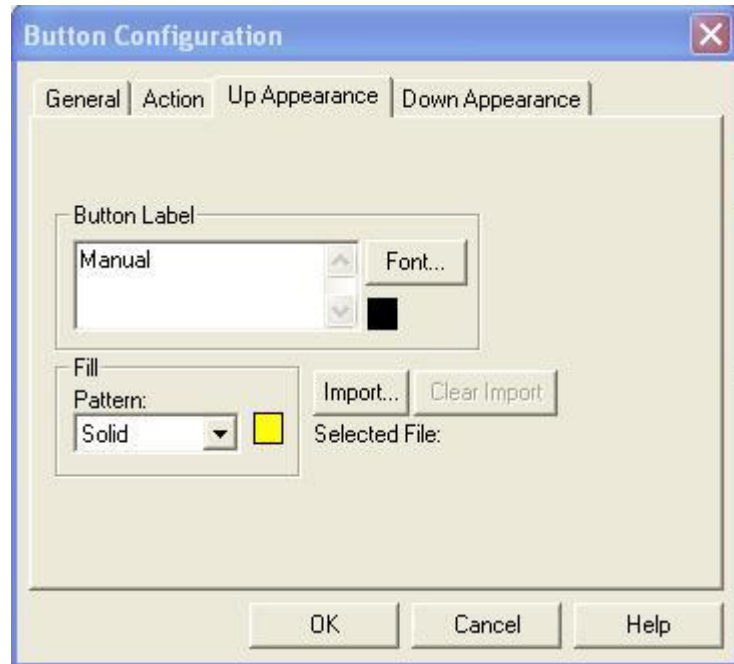


Figura 61: Passo 4 da configuração da animação de um botão

- Passo 5: Na aba *Down Appearance*, Figura 62, digite o nome e selecione a cor do nome que irá aparecer no botão e a cor do botão quando ele for pressionado.

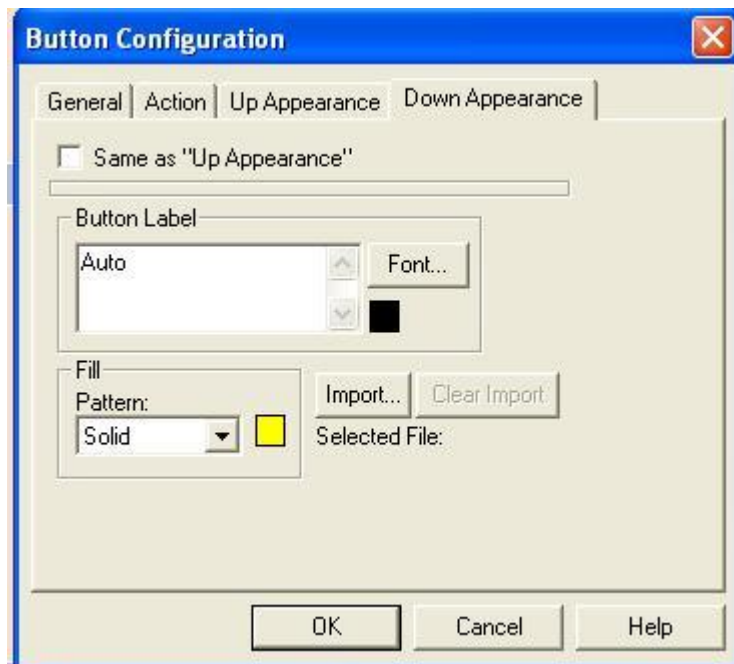


Figura 62: Passo 5 da configuração da animação de um botão

Como o modo de operação na condição inicial é manual, ao se pressionar o botão a aparência do botão irá mudar, e terá a descrição Auto em preto e o botão terá a cor amarela.

- Passo 6: Clique em OK.

5.6.2 Configurando a animação de cor (*color animation*)

A animação com cor permite que um objeto mude de cor baseado no valor de uma *tag* ou de uma expressão lógica. Para exemplificar este tipo de animação, será mostrado como foi feito a animação da cor da válvula AH02.

O comportamento para esta animação é função dos valores lógicos das seguintes *tags*:

- {*Anti-Heeling*\Valvulas\Fechada\AH02}
- {*Anti-Heeling*\Valvulas\Aberta\AH02}

Na Tabela 6 pode-se ver as cores da válvula em função da combinação dos valores das *tags*.

<i>Anti-Heeling</i> \Valvulas\Fechada\AH02	<i>Anti-Heeling</i> \Valvulas\Aberta\AH02	Cor
0	0	Amarela/Cinza
1	0	Amarela
0	1	Verde
1	1	Vermelha/Cinza

Tabela 6: Animação das cores em função dos valores das *tags*.

→ Passo 1: Selecione a válvula AH02 e clique com o botão direito do mouse.

→ Passo2: No *menu* que aparece, selecione *animation* e então clique em *color* com o botão esquerdo do mouse, como visto na Figura 63.

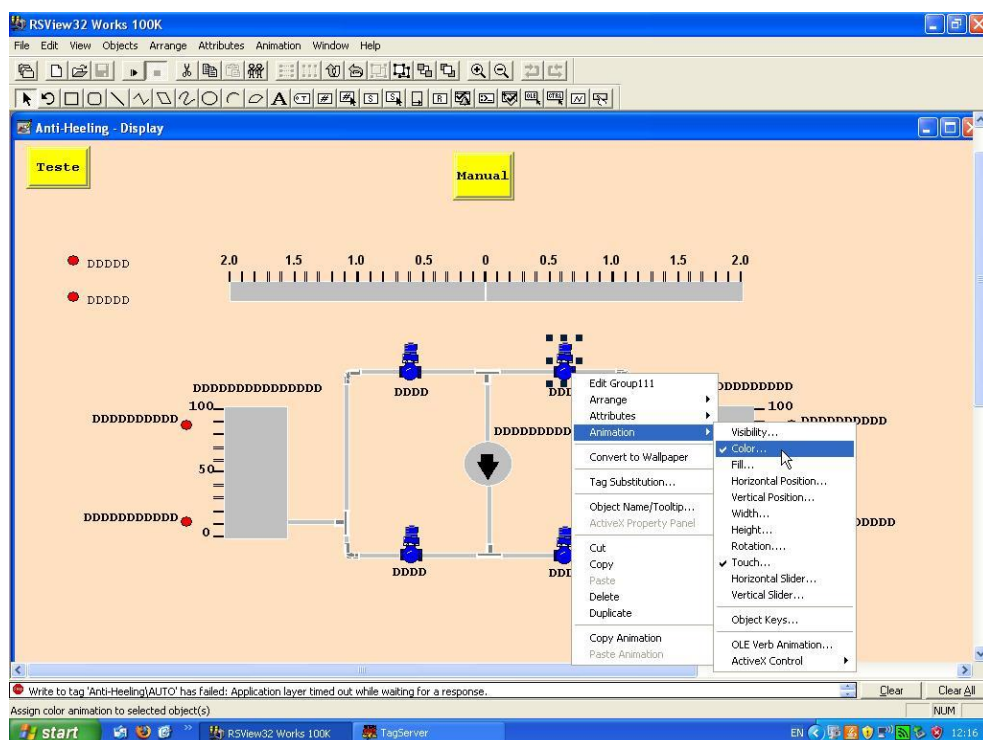


Figura 63: Passos 1 e 2 da configuração da animação de cor

→ Passo 3: A tela da Figura 64 irá aparecer. No campo *expression* crie uma expressão. Esta expressão pode ser um *tag* ou uma expressão mais complexa utilizando operadores lógicos por exemplo. Neste caso será utilizada uma expressão, cujo valor irá determinar a cor do objeto. No campo *expression* foi escrita a seguinte expressão:

If {Anti-Heeling\Valvulas\Fechada\AH02} AND NOT {Anti-Heeling\Valvulas\Aberta\AH02} Then 1 Else If {Anti-Heeling\Valvulas\Aberta\AH02} AND NOT {Anti-Heeling\Valvulas\Fechada\AH02} Then 2 Else If {Anti-Heeling\Valvulas\Aberta\AH02} AND {Anti-Heeling\Valvulas\Fechada\AH02} Then 3 Else 0.

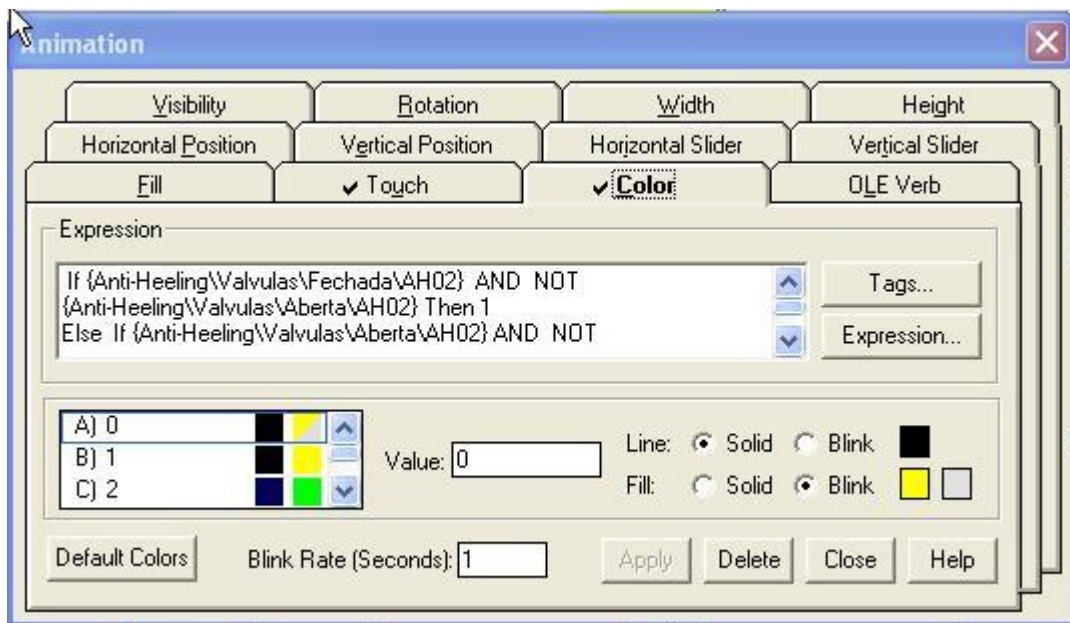


Figura 64: Tela da configuração da animação na aba color (cor)

Quando esta expressão tem valor zero, significa que a válvula não está nem aberta nem fechada, nesta situação a cor da válvula alternará entre amarela e cinza. Quando o resultado for 1, significa que a válvula está fechada, neste caso a cor da válvula será amarela. Para o valor da expressão igual a 2, o estado da válvula é aberta, assim a cor da válvula deverá ser verde. E se o valor da expressão for 3, significa que a válvula está aberta e fechada ao mesmo tempo, o que não é possível. Para esta situação a cor da válvula alternará entre vermelha e cinza. Na Tabela 7 está representada esta descrição.

Resultado da Expressão	Estado da válvula	Animação
0	Abrindo/Fechando	Amarela/Cinza
1	Fechada	Amarela
2	Aberta	Verde
3	Defeito	Vermelha/Cinza

Tabela 7: Resultado da expressão e o respectivo estado da válvula e as cores da animação.

- Passo 4: Na caixa de seleção, selecione um limiar (A até P) para o qual será configurado um valor. Como para este exemplo existem 4 valores possíveis, serão configurados os limiares A, B, C e D.
- Passo 5: No campo valor digite o valor limite para cada limiar, quando o valor da expressão alcançar este limiar o objeto irá mudar de cor conforme configurado para cada limiar. O valor dos limiares deve estar em ordem crescente. A Tabela 8 mostra o valor para cada limiar.
- Passo 6: Clique em *Solid* (sólida) ou *Blink* (piscando entre duas cores) dos campos *line* e *fill* e então clique sobre a caixa de cores, uma tela com as cores disponíveis irá aparecer, como pode ser visto na Figura 65. Selecione a cor desejada ou as cores no caso de selecionar o opção *Blink* para *line* ou *fill*.
- Passo 7: No campo *Blink Rate*, se a opção *Blink* for marcada, especifique quantos segundos ira levar uma ciclo completo. Para este exemplo foi utilizado o tempo de 1 segundo sempre que a opção *Blink* foi marcada. A Tabela 8 mostra a configuração que foi feita para cada limiar
- Passo 8: clique em Apply.

A Figura 66 mostra como ficou a tela para configuração da animação de cor para cada limiar.

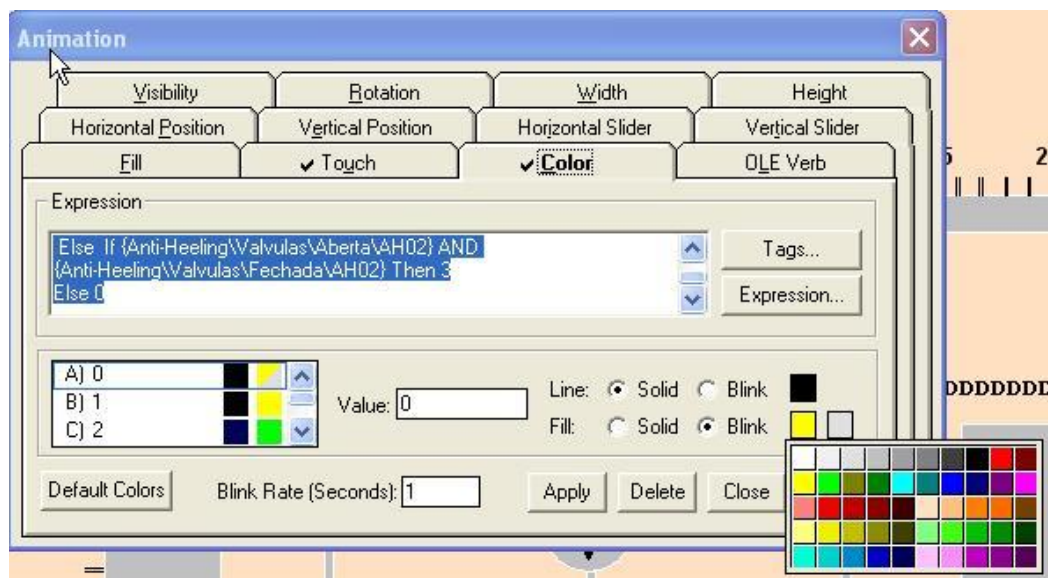


Figura 65: Tela de animação na aba color (cor) com a caixa de cores aberta

Limiar	Valor	Line		Fill		Blink Rate
		Estilo	Cor	Estilo	Cor	
A	0	<i>Solid</i>	Preta	<i>Blink</i>	Amarela/Cinza	1
B	1	<i>Solid</i>	Preta	<i>Solid</i>	Amarela	-
C	2	<i>Solid</i>	Preta	<i>Solid</i>	Verde	-
D	3	<i>Solid</i>	Preta	<i>Blink</i>	Vermelha/Cinza	1

Tabela 8: Resumo da configuração da animação de cor para cada limiar.

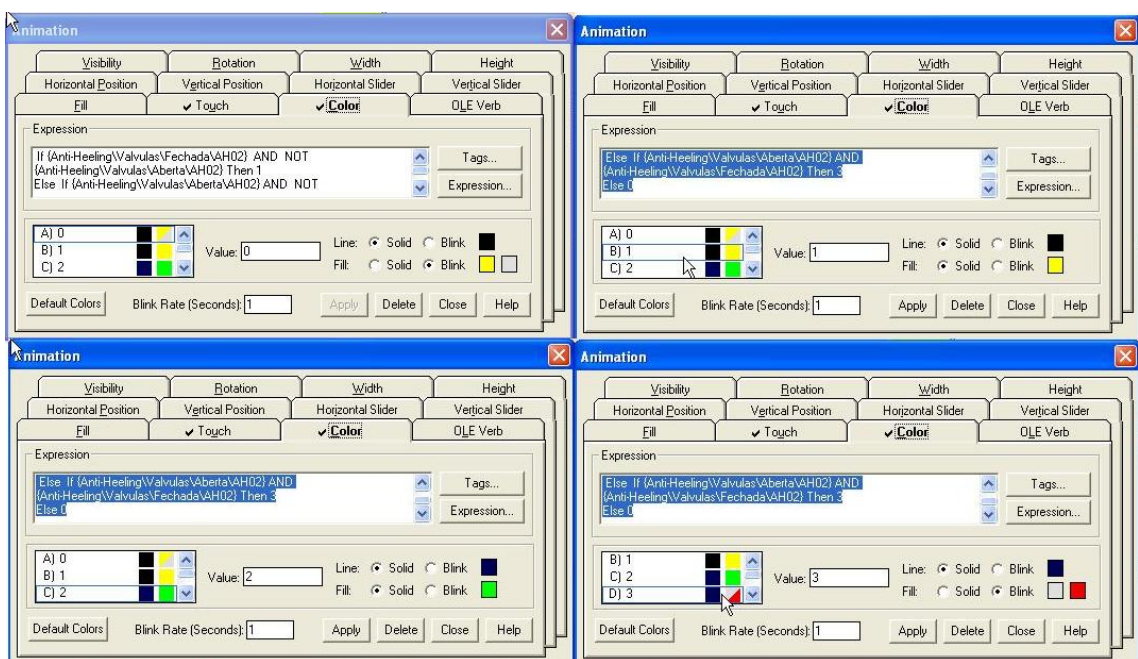


Figura 66: Telas com a configuração para cada limiar (A até D).

5.6.3 Configurando a animação de preenchimento (*fill animation*)

A animação de preenchimento é baseada no valor de uma *tag*, o preenchimento de um objeto é proporcional ao valor desta *tag*. Por exemplo, se o valor da *tag* está na metade entre o valor mínimo e o máximo, o objeto será preenchido pela metade. Para exemplificar será mostrado como foi feita a animação para o nível do Tanque BE *Anti-Heeling*.

Para este exemplo será utilizada a *tag Anti-Heeling\Nivel\ITQ_BE_AH*. O valor da *tag* varia de 5 a 100 e quando o nível está abaixo de 15 o conteúdo do tanque pisca entre vermelho e azul. Quando o nível do tanque está entre 15 e 95 o conteúdo do tanque fica azul. E quando o nível do tanque supera 95 o conteúdo pisca entre vermelho e azul.

a) Configuração da animação de preenchimento.

→ Passo 1: Selecione o tanque BE *Anti-Heeling* e clique com o botão direito do mouse.

→ Passo 2: No *menu* que aparece, selecione *animation* e então clique em *fill* com o botão esquerdo do mouse. A Figura 67 mostra este procedimento.

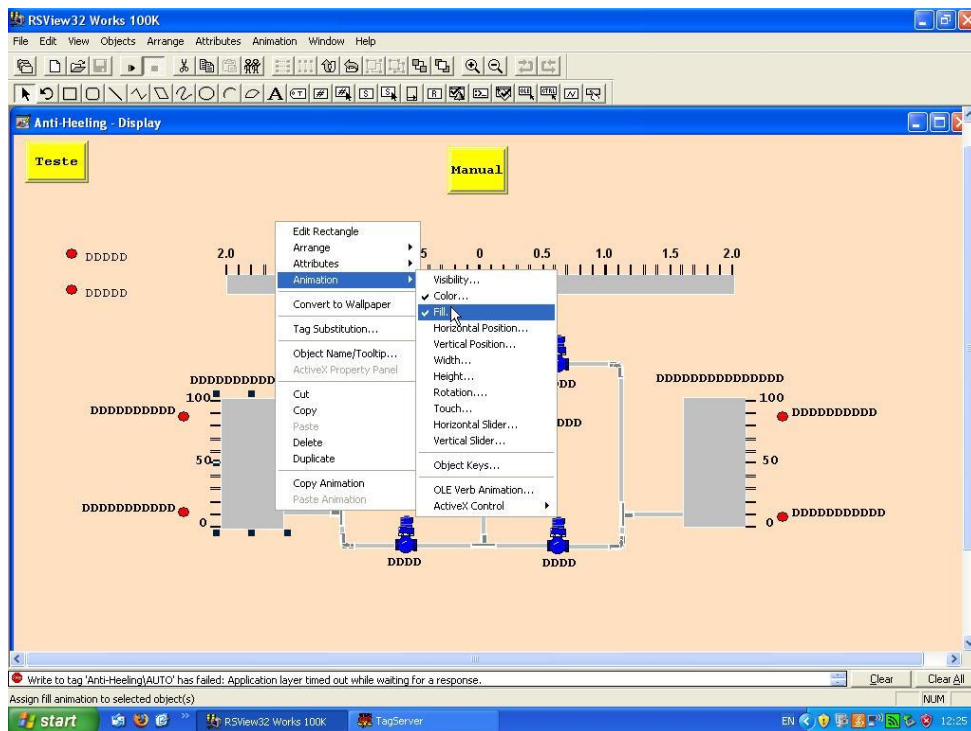


Figura 67: Passo 1 e 2 da configuração da animação de de preenchimento (*fill*)

→ Passo 3: A tela da Figura 68 irá aparecer. No campo *expression* crie um expressão, esta expressão pode ser um *tag* ou uma expressão mais complexa utilizando operadores lógicos por exemplo. Neste caso será utilizada a *tag Anti-HeelingNivel\TQ_BE_AH*, desta forma o valor desta *tag* irá determinar o preenchimento do objeto.

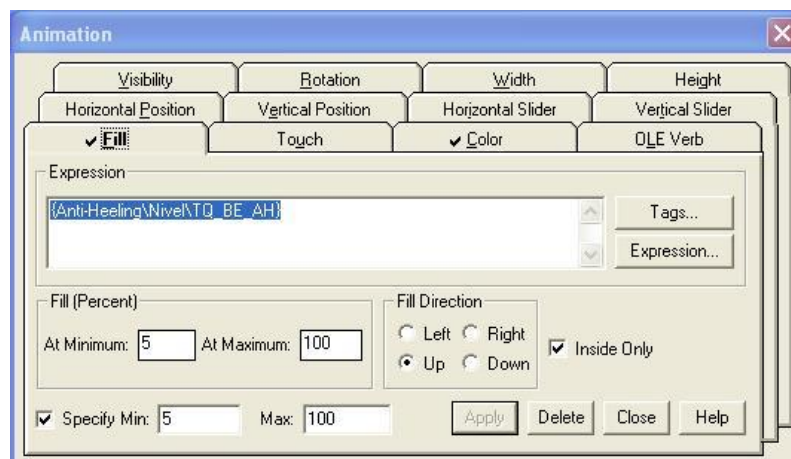


Figura 68: Tela de configuração da animação na aba *Fill* (preenchimento).

→ Passo 4: Especifique o valor mínimo e máximo para o percentual de preenchimento, no campo *Fill(Percent)*.

No exemplo o valor mínimo de preenchimento foi cinco, visto que os sensores estão montados a uma altura de 5% da altura do tanque e o máximo cem.

- Passo 5: Selecione a direção do preenchimento no campo *Fill Direction*. Para o nível do tanque foi escolhida a direção *Up* (cima).
- Passo 6: Selecione a caixa *Inside Only* para que a linha de contorno do objeto permaneça fixa e somente a parte interna varie.
- Passo 7: Para especificar os valores mínimos e máximos, selecione a caixa *Specify* e digite os valores mínimos e máximos para a *tag*. Como o valor da *tag* varia de cinco a cem, foi especificado o valor mínimo em cinco e o máximo em cem.
- Passo 8: Clique em Apply.

A Figura 68 mostra como ficou a tela para configuração da animação de preenchimento.

b) Configurando a animação da cor do conteúdo do tanque para cada limiar.

→ Primeiramente clique na aba *color* da Figura 68. A tela da Figura 69 irá abrir.

b.1) Configurando a cor para o nível entre 0 e 15.

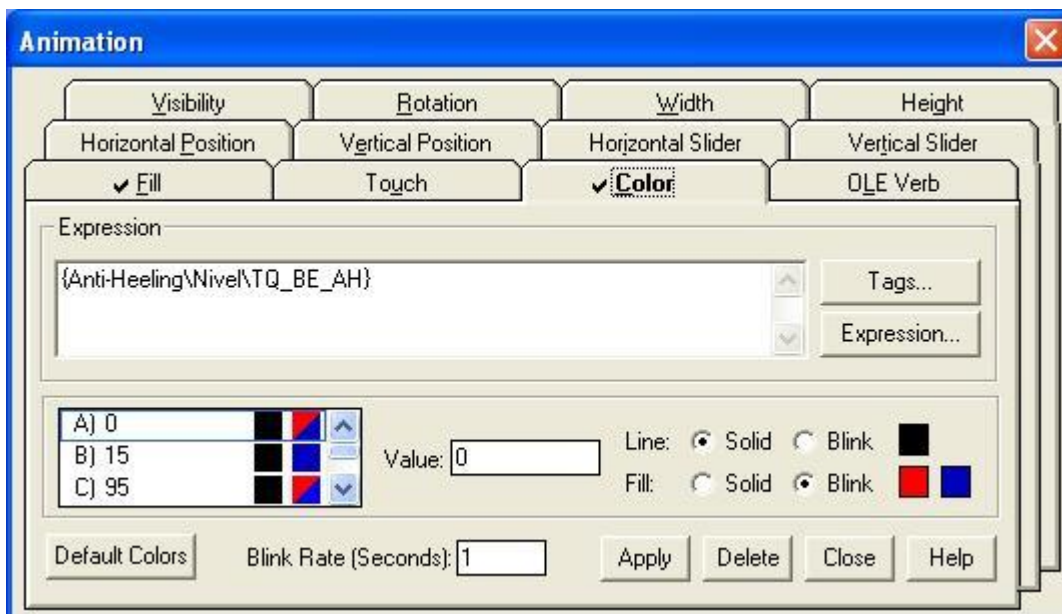


Figura 69: Tela com a configuração da animação de cor para o valor da *tag* entre 0 e 15

→ Passo 1: Na caixa de seleção dos limiares, clique em A.

→ Passo 2: No campo *Value*, digite 0.

→ Passo 3: Para *Line* clique em *Solid* e para *Fill* clique em *Blink*.

→ Passo 4: Para *Line* abra a caixa de cores e clique na cor preta, para *Fill* abra a caixa de cores e selecione vermelho para a primeira cor e azul para a segunda cor.

→ Passo 5: No campo *Blink Rate* digite 1.

A Figura 69 mostra como ficou a tela para configuração da animação da cor do preenchimento para valores entre 0 e 15.

b.2) Configurando a cor para o nível entre 15 e 95. Figura 70.

→ Passo 1: Na caixa de seleção dos limiares, clique em B.

→ Passo 2: No campo Value, digite 15.

→ Passo 3: Para Line e Fill clique em Solid.

→ Passo 4: Para Line abra a caixa de cores e clique na cor preta, para Fill abra a caixa de cores e selecione a cor azul.

→ Passo 5: No campo Blink Rate digite 1.

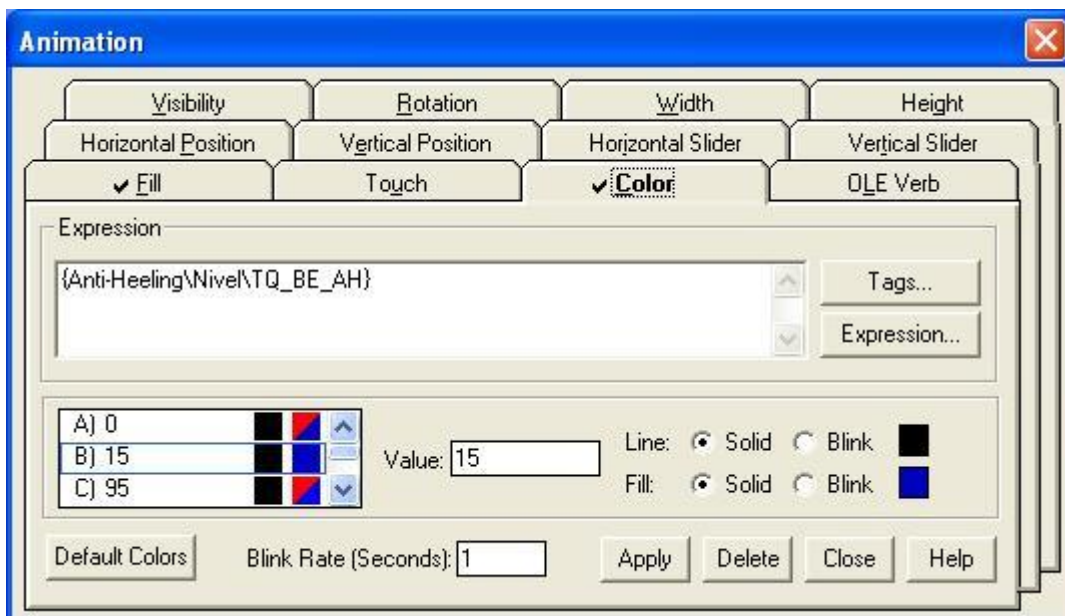


Figura 70: Tela com a configuração da animação de cor para o valor da tag entre 15 e 95

A Figura 70 mostra como ficou a tela para configuração da animação da cor do preenchimento para valores entre 15 e 95.

b.3) Configurando a cor para o nível acima de 95. Figura 71.

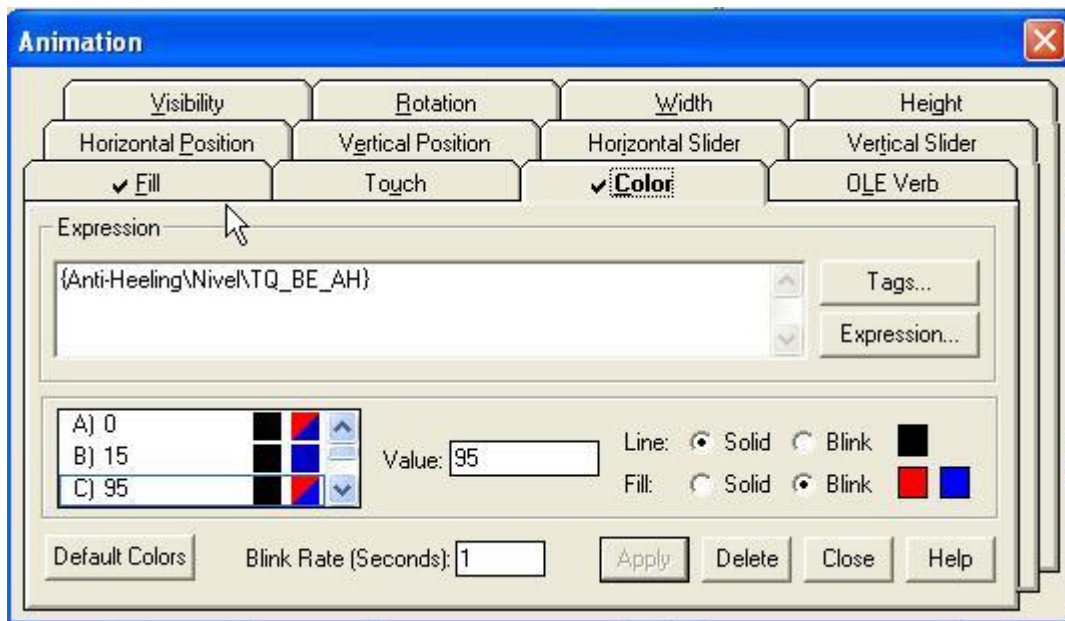


Figura 71: Tela com a configuração da animação de cor para o valor da tag acima de 95

- Passo 1: Na caixa de seleção dos limiares, clique em C.
- Passo 2: No campo *Value*, digite 95.
- Passo 3: Para *Line* clique em *Solid* e para *Fill* clique em *Blink*.
- Passo 4: Para *Line* abra a caixa de cores e clique na cor preta, para *Fill* abra a caixa de cores e selecione vermelho para a primeira cor e azul para a segunda cor.
- Passo 5: No campo *Blink Rate* digite 1.
- Passo 6: Clique em *Apply*.

A Figura 71 mostra como ficou a tela para configuração da animação da cor do preenchimento para valores entre 15 e 95.

5.6.4 Configurando a animação de toque (*touch animation*)

Com a animação de toque (*touch*), é possível especificar as ações *press*, *repeat* e *release*, que são executadas quando o operador clica no objeto com o botão esquerdo do mouse. Para exemplificar será mostrado como foi feita a animação de toque nas válvulas. Esta animação realiza a seguinte ação: Quando o operador clica com o botão esquerdo do mouse sobre a válvula AH02 a tela Cmd AH02 abre.

A configuração desta animação é feita da seguinte forma:

- Passo 1: Selecione um objeto, no caso a válvula AH02, e clique com o botão direito do mouse.
- Passo 2: No *menu* que aparece, selecione *animation* e então clique em *touch* com o botão esquerdo do mouse. A Figura 72 mostra os passos 1 e 2.

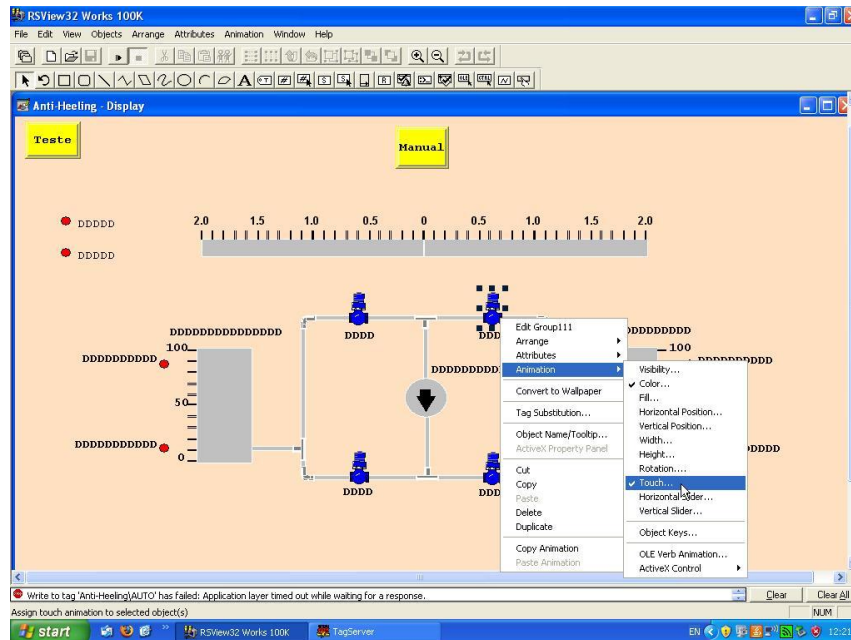


Figura 72: Passo 1 e 2 da configuração da animação de toque (*touch*)

- Passo 3: No campo *Press Action* digite um comando, bem como no campo *Repeat* ou *Release* se for desejado.

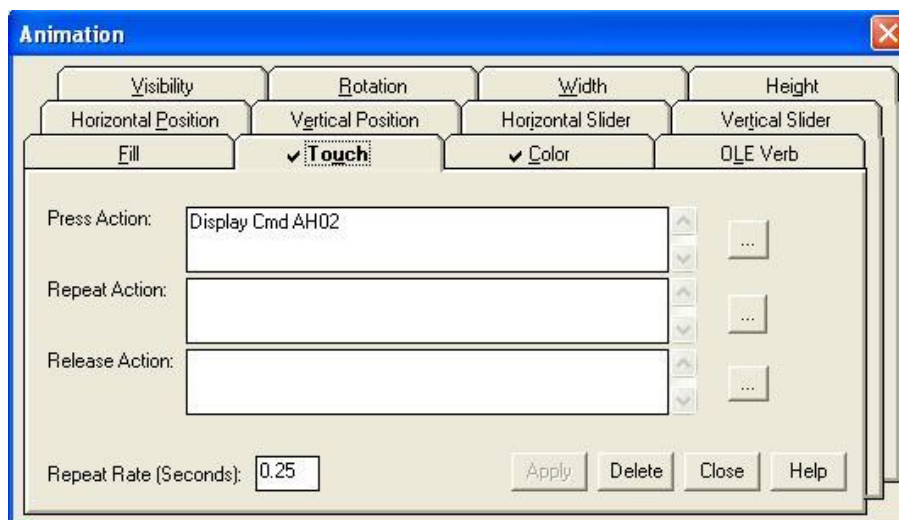


Figura 73: Tela de animação na aba *Touch* (toque).

No campo *Press Action* foi digitado o comando *Display Cmd AH02*, Figura 73. A ação do comando *Display* é abrir uma tela gráfica, neste caso a tela *Cmd AH02*.

- Passo 4: Se for especificado a ação *Repeat*, especifique uma taxa de repetição.

→ Passo 5: Clique em *Apply*.

5.6.5 Rótulo (*Label*)

O rótulo serve para nomear os objetos gráficos. Para a descrição desta configuração será utilizado como exemplo o rótulo do tanque BB *Anti-Heeling*.

→ Passo 1: Na barra de ferramentas clique no ícone *Label*, como mostrado na Figura 74.

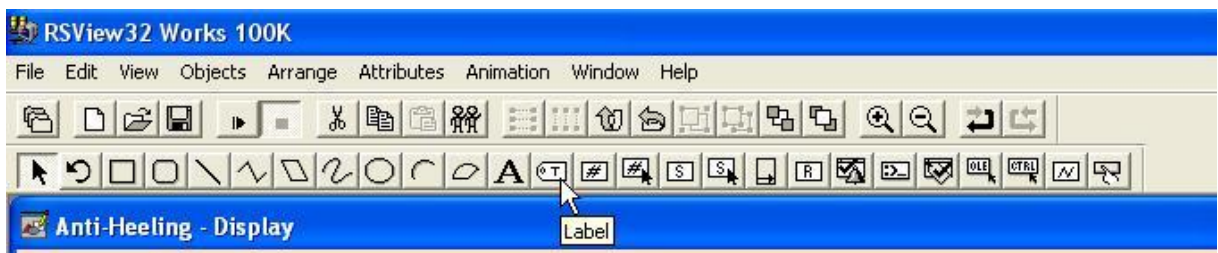


Figura 74: Ícone *Label* na barra de ferramentas

→ Passo 2: Selecione a área na qual se deseja que o rótulo apareça. Uma tela como a da Figura 75 irá abrir.



Figura 75: Tela de configuração de um *label*.

→ Passo 3: Nesta tela selecione uma *tag* (*tag name*).

Neste caso foi selecionada a *tag Anti-HellingNivel\TQ_BB_AH*.

→ Passo 4: Digite o número de caracteres deste rótulo (*Field length*). Neste caso foi selecionado o valor 15.

→ Passo 5: Escolha o tipo da *label* (*label type*).

O tipo de *label* escolhido foi *Description*. Assim será mostrado na tela do sistema de supervisão a descrição da *tag* selecionada.

→ Passo 6: Selecione o posicionamento (*justification*). Foi escolhido *Center* (Centralizado).

Ao final da configuração a tela de configuração a tela de configuração de um rotulo (*label*) deve ficar como a da Figura 75.

→ Passo 7: Clique em OK.

5.7 Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os passos e ferramentas necessárias para a construção de um sistema de supervisão. Estas ferramentas foram utilizadas no desenvolvimento do sistema de supervisão do sistema Anti-Heeling. No Capítulo 6 será apresentado o funcionamento do sistema de supervisão do sistema Anti-Heeling e do sistema de Lastro.

Capítulo 6: Funcionamento Do Sistema de Supervisão

Neste capítulo será apresentado o funcionamento do sistema de supervisão desenvolvido para o Sistema *Anti-Heeling* e Sistema de Lastro.

Quando o sistema de supervisão é inicializado, a tela do sistema *Anti-Heeling* irá abrir. Para abrir a tela do sistema de lastro, basta apertar o botão lastro, localizado no canto superior esquerdo da tela do sistema *Anti-Heeling*, Figura 76. Para abrir a tela do sistema *Anti-Heeling* a partir da tela do sistema de lastro, basta apertar o botão A.H., localizado no canto superior esquerdo da tela do sistema de lastro, Figura 83.

6.1 Sistema Anti-Heeling

A Figura 76 mostra a tela do sistema Anti-heeling no sistema de supervisão.

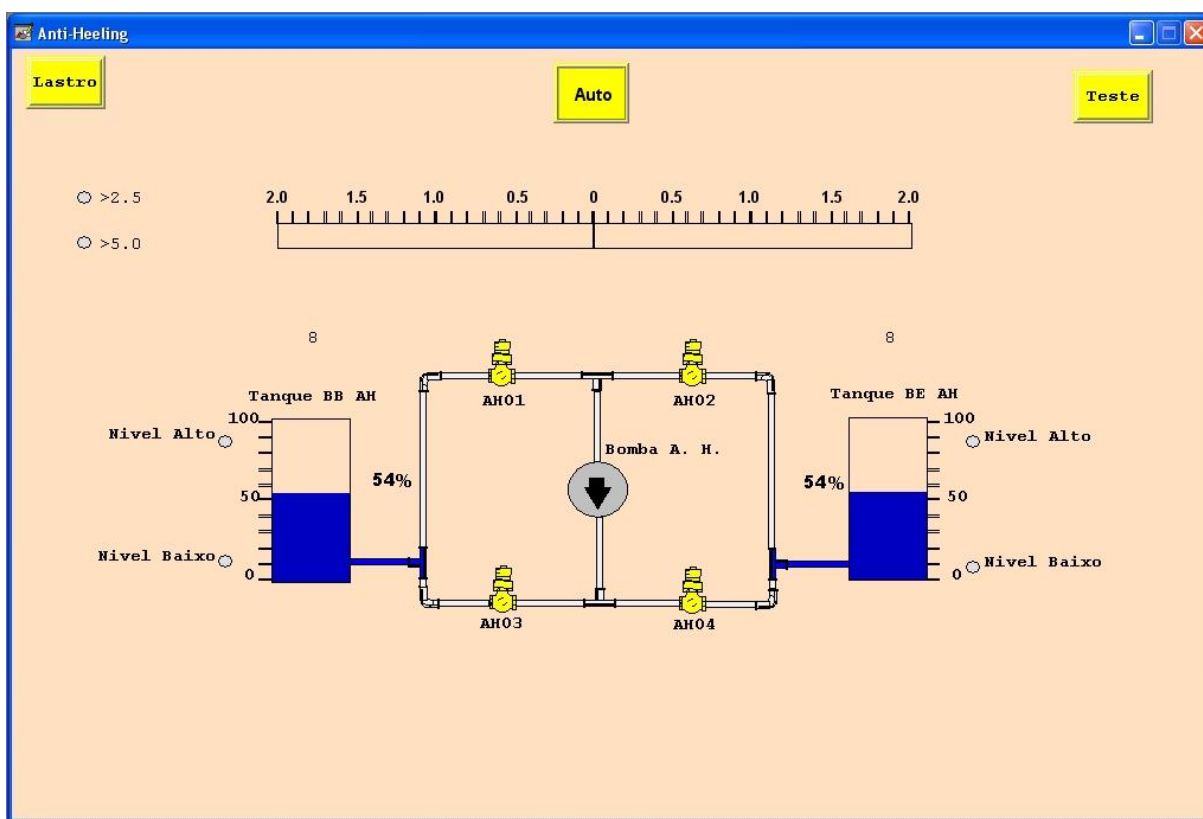


Figura 76: Tela do sistema de supervisão do Sistema *Anti-Heeling*

6.1.1 Funcionamento Manual

Através do botão de seleção Auto/Manual, selecione Manual.

a) Abrir/Fechar uma válvula.

Exemplo: Operação da válvula AH01.

→ Passo 1: Clique na válvula desejada, AH01, com o botão direito do mouse. A tela de operação da válvula AH01, que pode ser vista na Figura 77, irá abrir.



Figura 77: Tela de operação da válvula AH01, com a válvula fechada

→ Passo 2: Para abrir a válvula clique com o botão direito do mouse no botão Abrir da tela de operação da válvula AH01. O ícone Cmd AH01 ficará verde indicando que o comando para abertura da válvula está atuante. Quando a válvula estiver completamente aberta o ícone Aberta da tela de operação da válvula ficará verde, como pode ser visto na Figura 78.



Figura 78: Tela de operação da válvula AH01, com a válvula aberta

→ Passo 3: Para fechar a válvula repita o passo 1 e clique com o botão direito do mouse no botão Fechar da tela de operação da válvula AH01. O ícone Cmd AH01 ficará cinza indicando que o comando para abertura da válvula foi retirado. Quando a válvula estiver completamente fechada o ícone Fechada da tela de operação da válvula ficará verde, como mostra a Figura 77.

b) Ligar/Desligar a Bomba A.H.

→ Passo 1: Clique na Bomba A.H. com o botão direito do mouse. A tela de operação da Bomba A.H. irá abrir, esta tela pode ser vista na Figura 79.



Figura 79: Tela de operação da Bomba AH, com a Bomba AH desligada

→ Passo 2: Para ligar a Bomba A.H. clique com o botão direito do mouse no botão Ligar da tela de operação da Bomba A.H. O ícone Cmd BBA A.H. ficará verde indicando que o comando para Ligar a Bomba A.H. está atuante e quando a Bomba A.H. estiver ligada o ícone On da tela de operação da Bomba A.H. ficará verde, como mostra a Figura 80.



Figura 80: Tela de operação da Bomba AH, com a Bomba AH ligada

→ Passo 3: Para desligar a Bomba A.H repita o passo 1 e clique com o botão direito do mouse no botão Desligar da tela de operação da Bomba A.H. O ícone Cmd BBA A.H. ficará cinza indicando que o comando para ligar a Bomba A.H. foi retirado e quando a Bomba A.H. estiver desligada o ícone Off da tela de operação da Bomba A.H. ficará verde, como pode ser visto na Figura 79.

6.1.2 Funcionamento Automático

Através do botão de seleção Automático/Manual, selecione Automático. No modo Automático o sistema irá funcionar de maneira independente.

A Figura 81 mostra o funcionamento do sistema para compensar a inclinação de 1,5 graus para bombordo. As válvulas AH01 e AH04 são abertas e a Bomba AH ligada, transferindo água do tanque BB AH para o tanque BE AH.

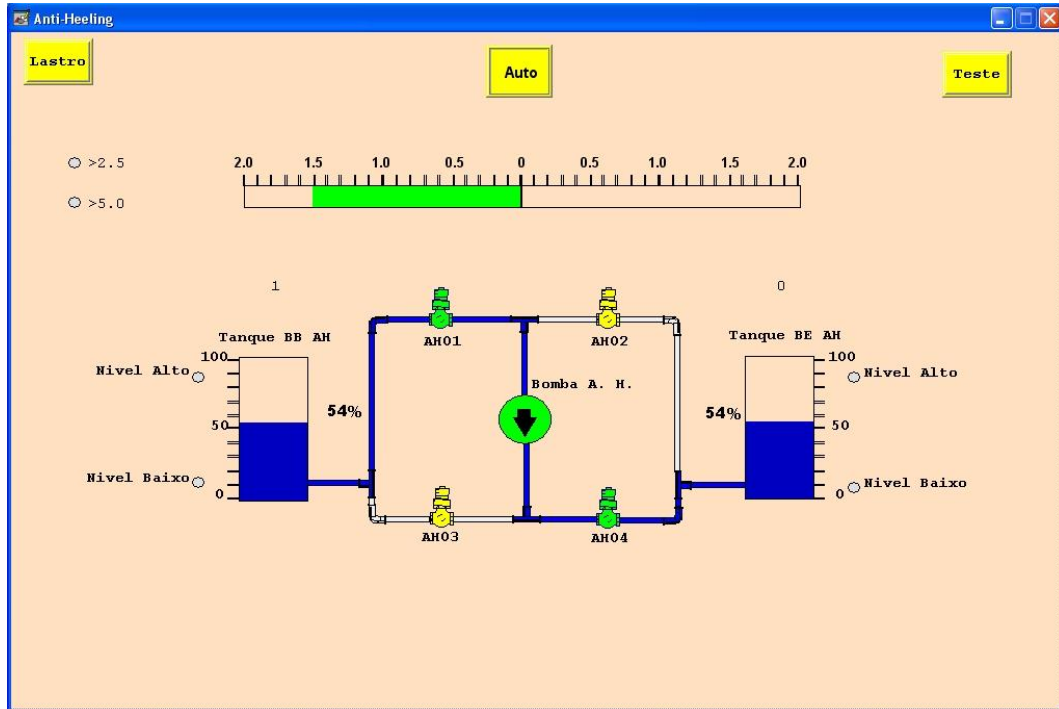


Figura 81: Funcionamento do sistema no modo automático, compensando uma inclinação para BB

A Figura 82 mostra o funcionamento do sistema para compensar a inclinação de 1,5 graus para boreste. As válvulas AH02 e AH03 são abertas e a Bomba AH ligada, transferindo água do tanque BE AH para o tanque BB AH.

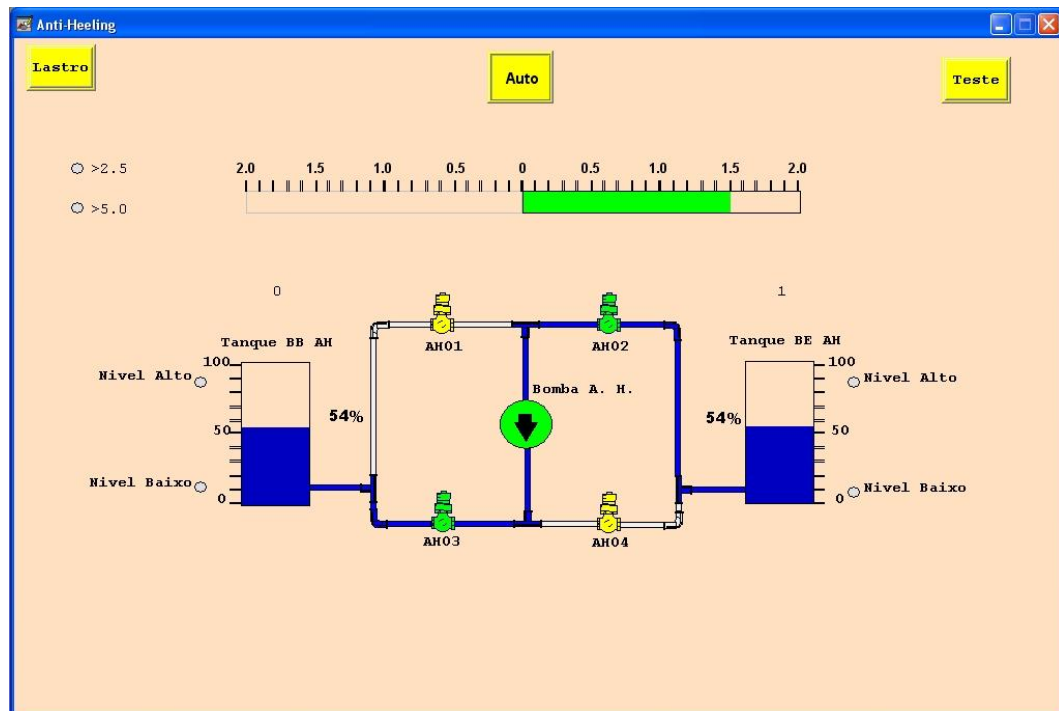


Figura 82: Funcionamento do sistema no modo automático, compensando uma inclinação para BE

6.2 Sistema de Lastro

O sistema de lastro funciona somente de forma manual. O operador deve abrir/fechar as válvulas desejadas e ligar/desligar a bomba de lastro. A Figura 83 mostra a tela do sistema de lastro no sistema de supervisão.

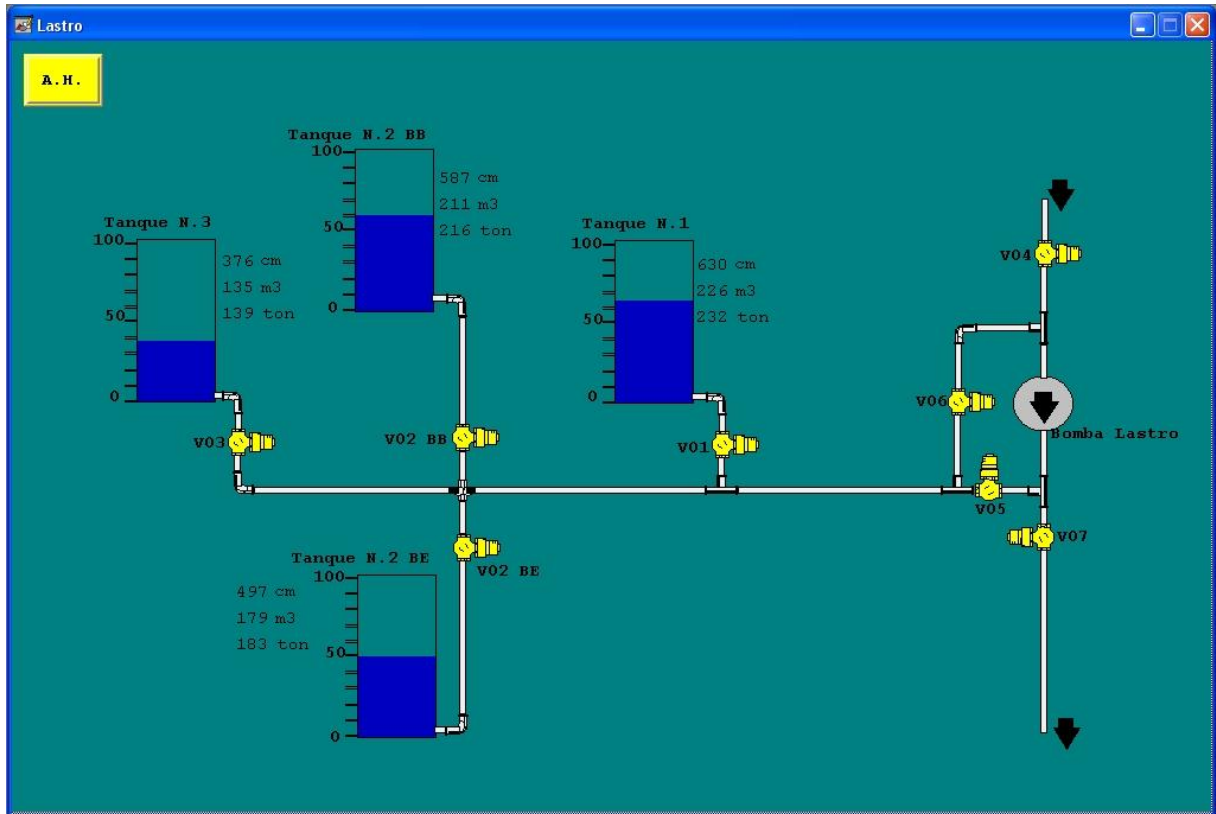


Figura 83: Tela do sistema de supervisão do sistema de lastro

a) Abrir/Fechar uma válvula.

Funciona da mesma forma que descrito no item 6.1.1, Abrir/Fechar uma válvula.

b) Ligar/Desligar a Bomba de Lastro

Funciona da mesma forma que descrito no item 6.1.1, Ligar/Desligar a Bomba AH

A Figura 84 mostra a operação do sistema enchendo o tanque Número 1. Para realizar esta operação o operador deve abrir as válvulas V04, V05 e V01, e em seguida ligar a Bomba de Lastro.

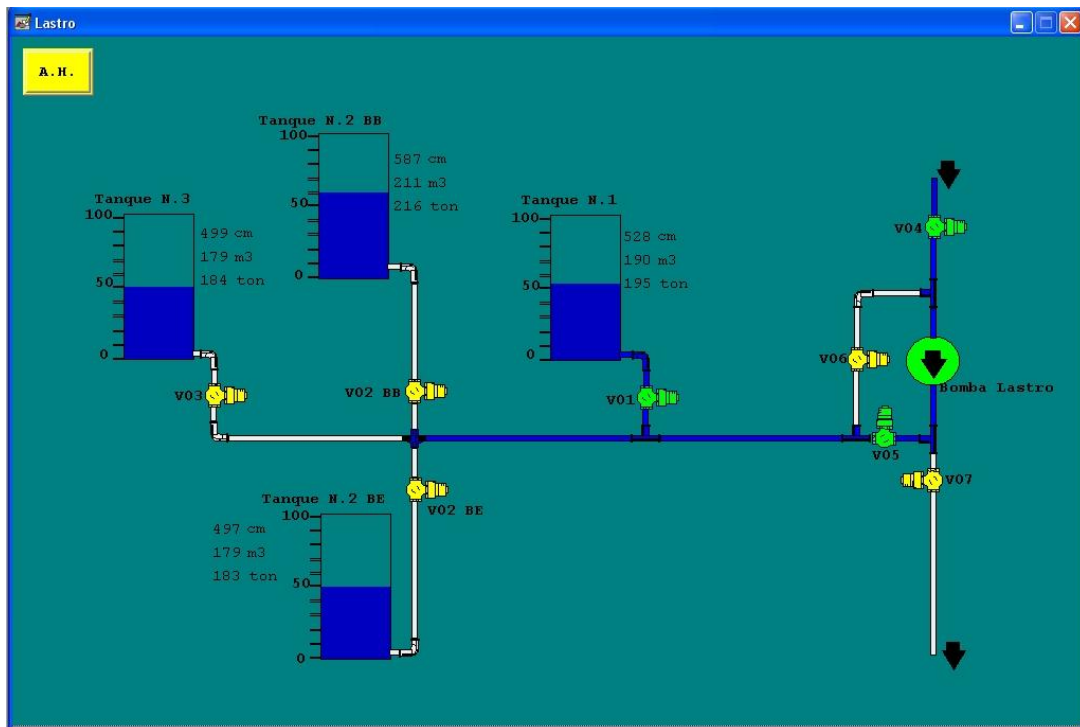


Figura 84: Tela do sistema de supervisão durante a operação para encher o tanque Número 1

A Figura 85 mostra a operação do sistema esvaziando o tanque número 3. Para realizar esta operação o operador deve abrir as válvulas V06, V07 e V03, e em seguida ligar a Bomba de Lastro.

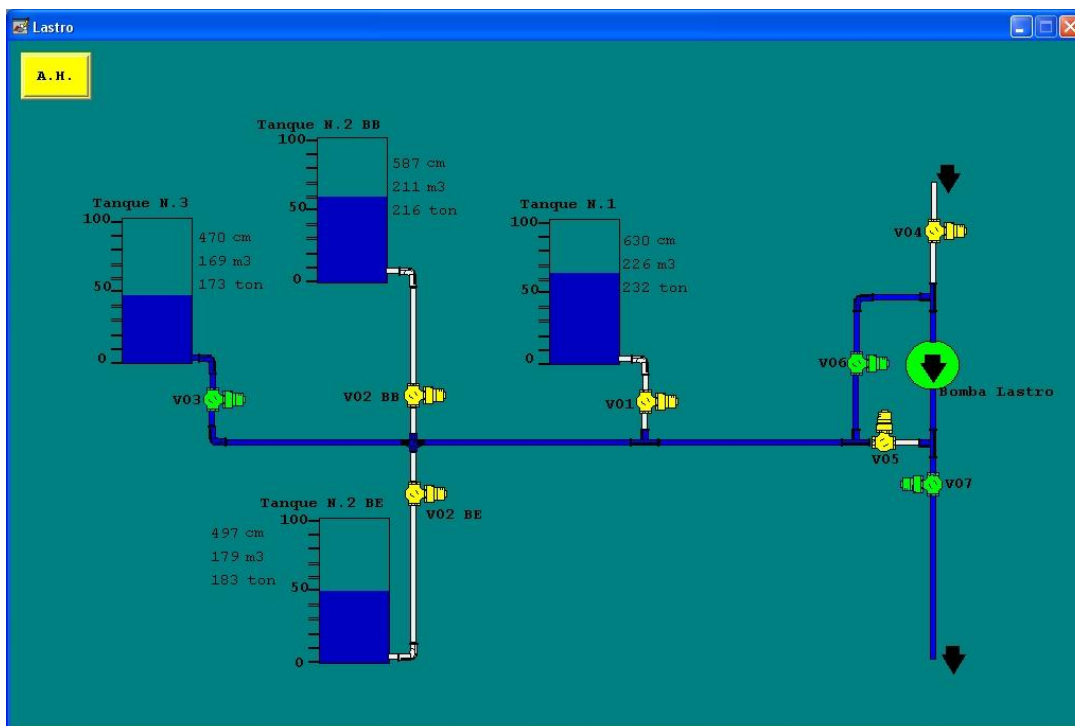


Figura 85: Tela do sistema de supervisão durante a operação para esvaziar o tanque Número 3

6.3 Conclusões

Nesse capítulo foi feita uma breve descrição da operação do sistema de supervisão, mostrando a operação no modo manual e a operação no modo automático. O sistema de supervisão apresentado possibilita uma fácil operação do sistema no modo manual e o acompanhamento do estado do sistema tanto no modo manual quanto no modo automático. Para a realização dos testes de operação dos sistemas foi desenvolvido um programa em ladder para realizar a dinâmica dos sistemas e assim, possibilitar as simulações, além de uma tela auxiliar com botões para simular o carregamento e o descarregamento de um navio.

Capítulo 7: Conclusão

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um projeto para controle manual e automático de um sistema *Anti-Heeling* e o desenvolvimento de um sistema de supervisão para esse sistema.

Neste trabalho, o modelo da automação do sistema *Anti-Heeling* foi desenvolvido utilizando-se a rede de petri interpretada para controle (RPIC). Esse modelo representou de forma fiel a evolução dos estados da automação do sistema de acordo com a ocorrência dos eventos externos definidos, além de proporcionar um ponto de partida para o desenvolvimento do programa *ladder* a ser implementado no CLP. O programa *ladder*, obtido utilizando o método de conversão de RPIC para *ladder* apresentado no capítulo 4, realizou as tarefas presentes na descrição do sistema de forma integral proporcionando o correto funcionamento da automação do sistema, mostrando que os objetivos deste trabalho no que diz respeito à parte de controle e automação foram alcançados.

No que diz respeito ao sistema de supervisão do sistema *Anti-Heeling* desenvolvido, este mostra em suas telas os estados dos equipamentos e as indicações de sensores, através de animações, conforme a descrição das animações para os equipamentos e indicadores. O sistema de supervisão também proporciona todo o controle manual das válvulas e da bomba de água, e a seleção do modo de operação (Manual/Automático) do sistema *Anti-Heeling*.

Para testar o funcionamento da automação do sistema *Anti-Heeling* e do sistema de supervisão, foi desenvolvido um simulador para representar a dinâmica do sistema. Desta forma simulou-se o funcionamento da automação e do sistema de supervisão. Todos os testes para a partida e a parada automática do sistema foram realizados com sucesso, bem como o controle manual das válvulas e da bomba de água. O sistema de supervisão, por meio de animações, mostrou o estado dos equipamentos e a indicação dos sensores como esperado. Além disso, pelo sistema de supervisão, todo o controle manual das válvulas e da bomba de água foi realizado com sucesso utilizando-se as telas de operação manual.

Em trabalhos futuros, pode ser desenvolvido este mesmo sistema com um nível de controle e automação mais complexo e utilizando as mesmas técnicas utilizadas neste trabalho construir um sistema de controle e supervisão mais sofisticado.

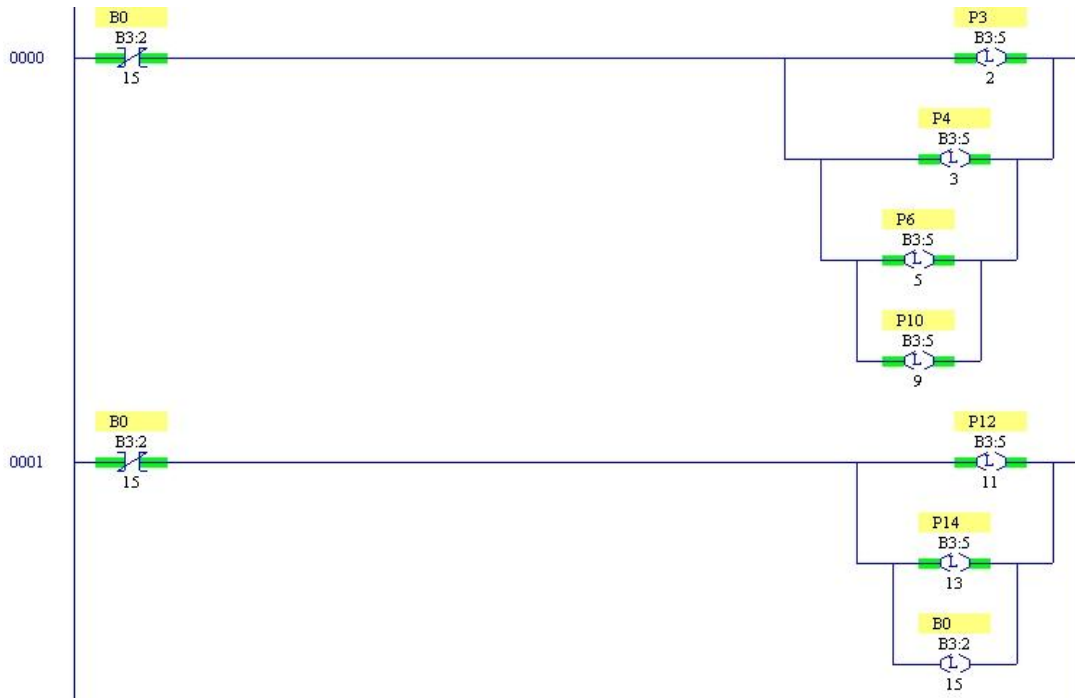
Bibliografia

- [1] Moreira, M. V. Botelho, D. S. e Basilio, J.C. Ladder diagram implementation of Control Interpreted Petri Nets: a state equation approach, 4th Workshop on Discrete Event System Design 2009, Gandia, Espanha, PP. 85-90.
- [2] Cassandras, C. G. e Lafortune, S. Introduction to Discrete Event System, 2^a edição, Springer, 2008.
- [3] Davi, R. e Alla, H. Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets, 1^a edição, Springer, 2005.
- [4] Maitelli, A. L. Controladores lógicos programáveis. [HTTP://www.dca.ufrn.br/~maitelli/](http://www.dca.ufrn.br/~maitelli/), acessado em 11/05/2010.
- [5] RSView32, User's Guide, Rockwell Automation.
- [6] RsLinx, Training Guide, Rockwell Software.
- [7] SLC 500 Instruction Set, Reference manual, Rockwell Automation.

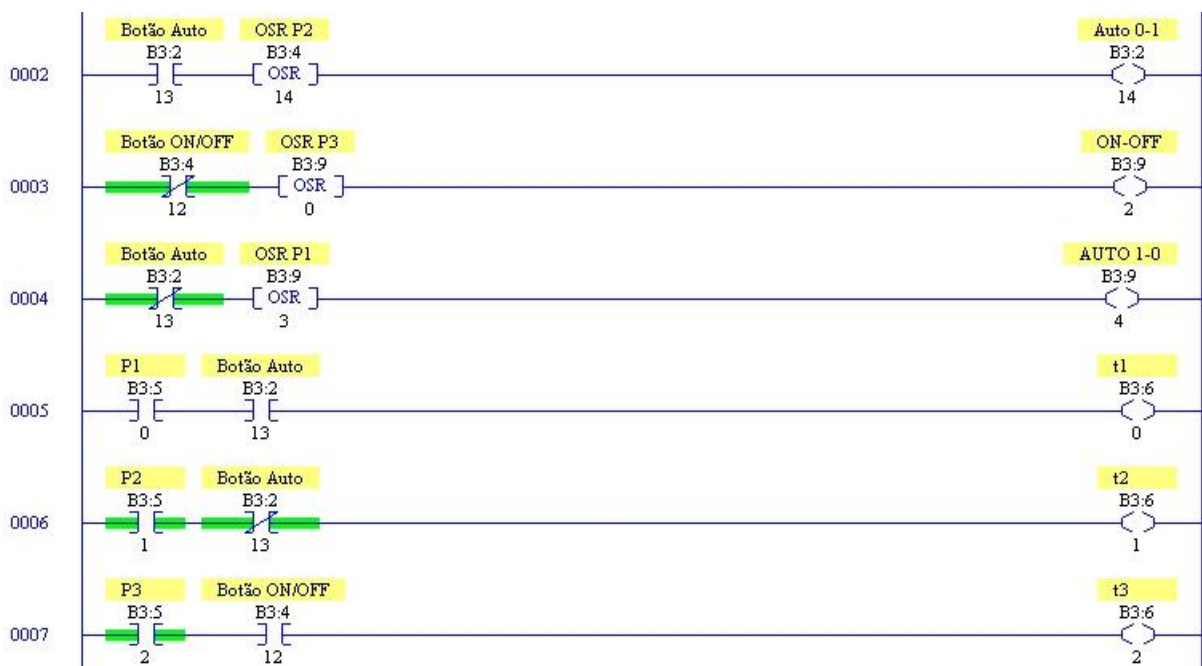
Apêndice A

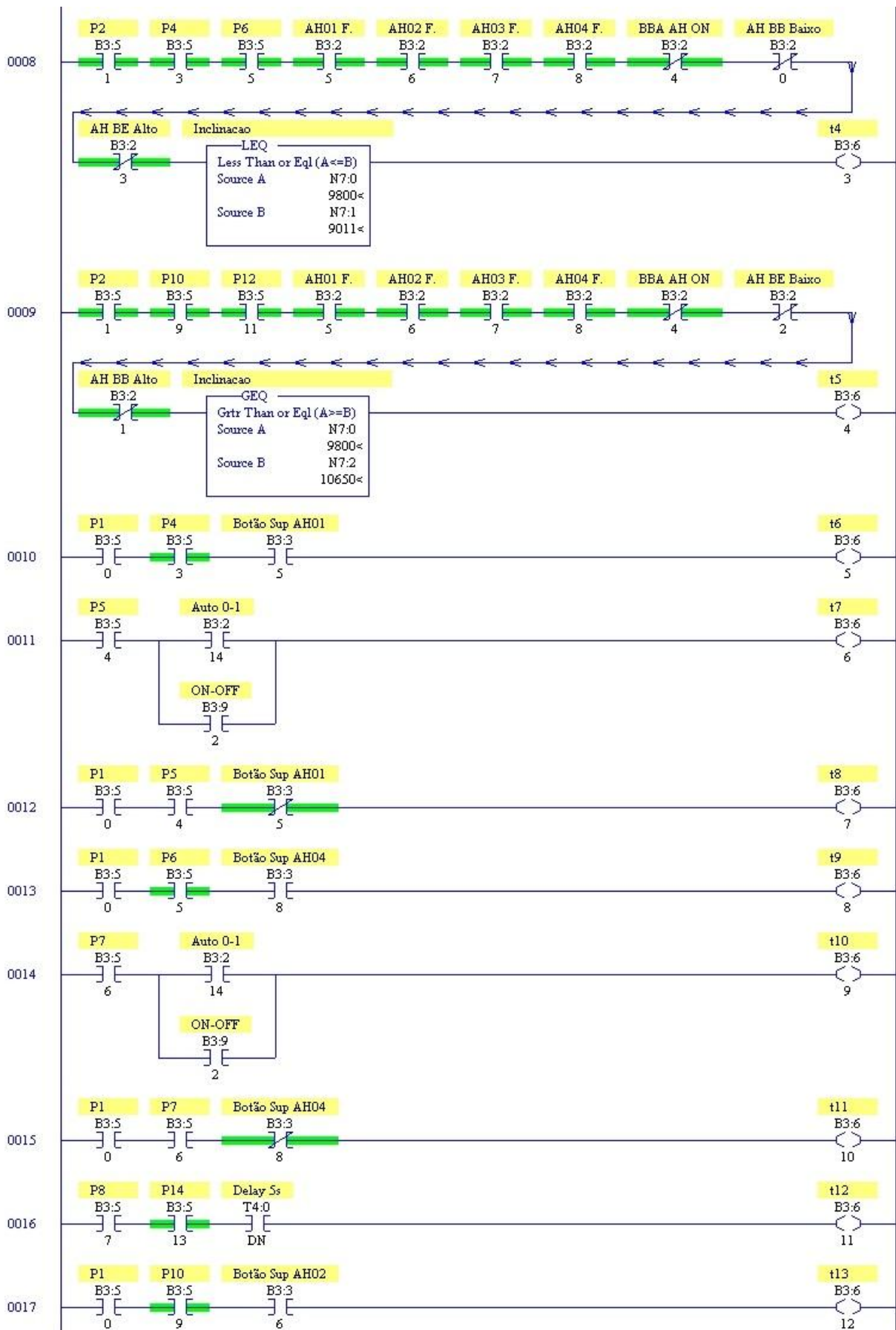
Programa Ladder para controle do Sistema *Anti-Heeling*

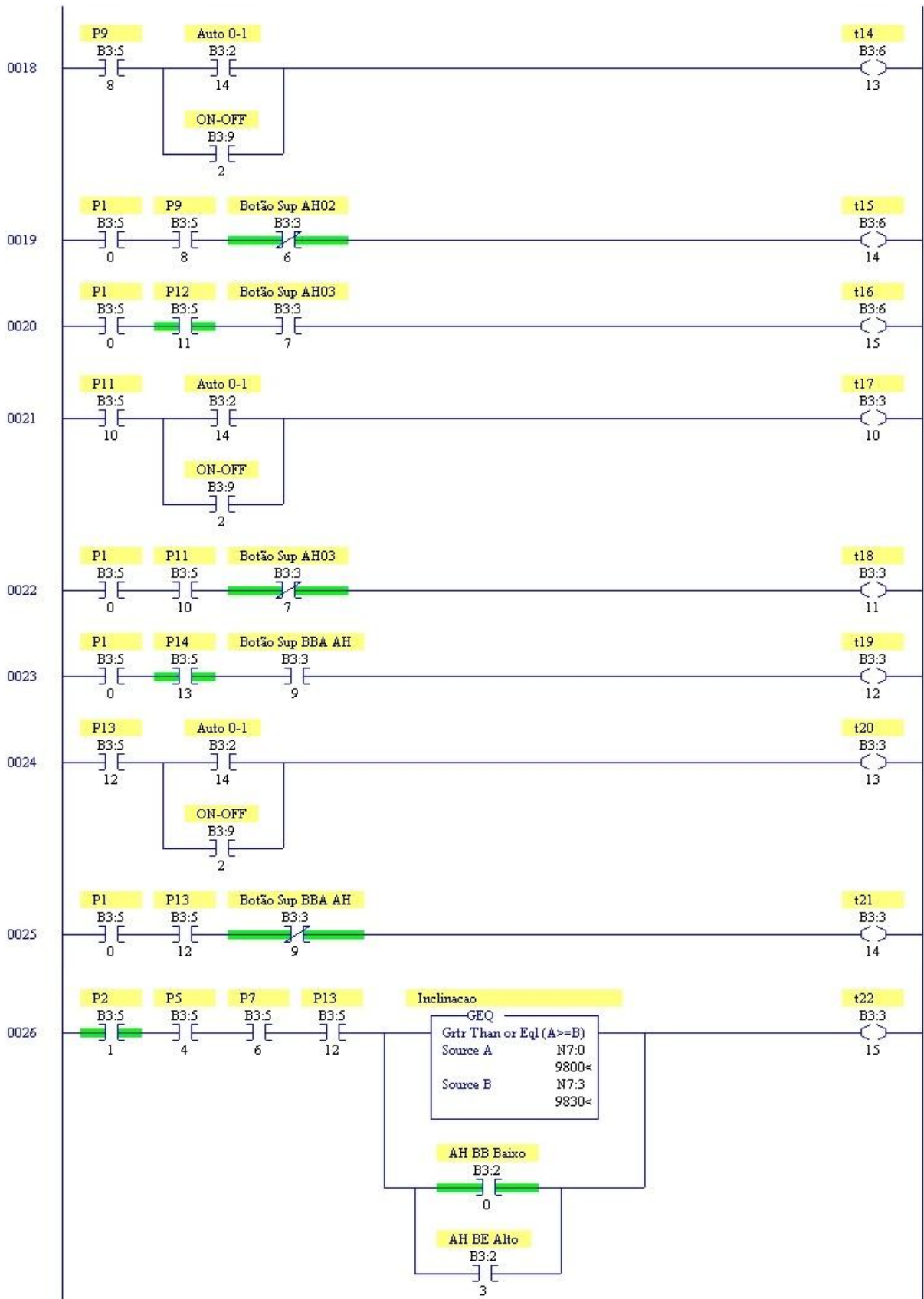
Módulo de inicialização

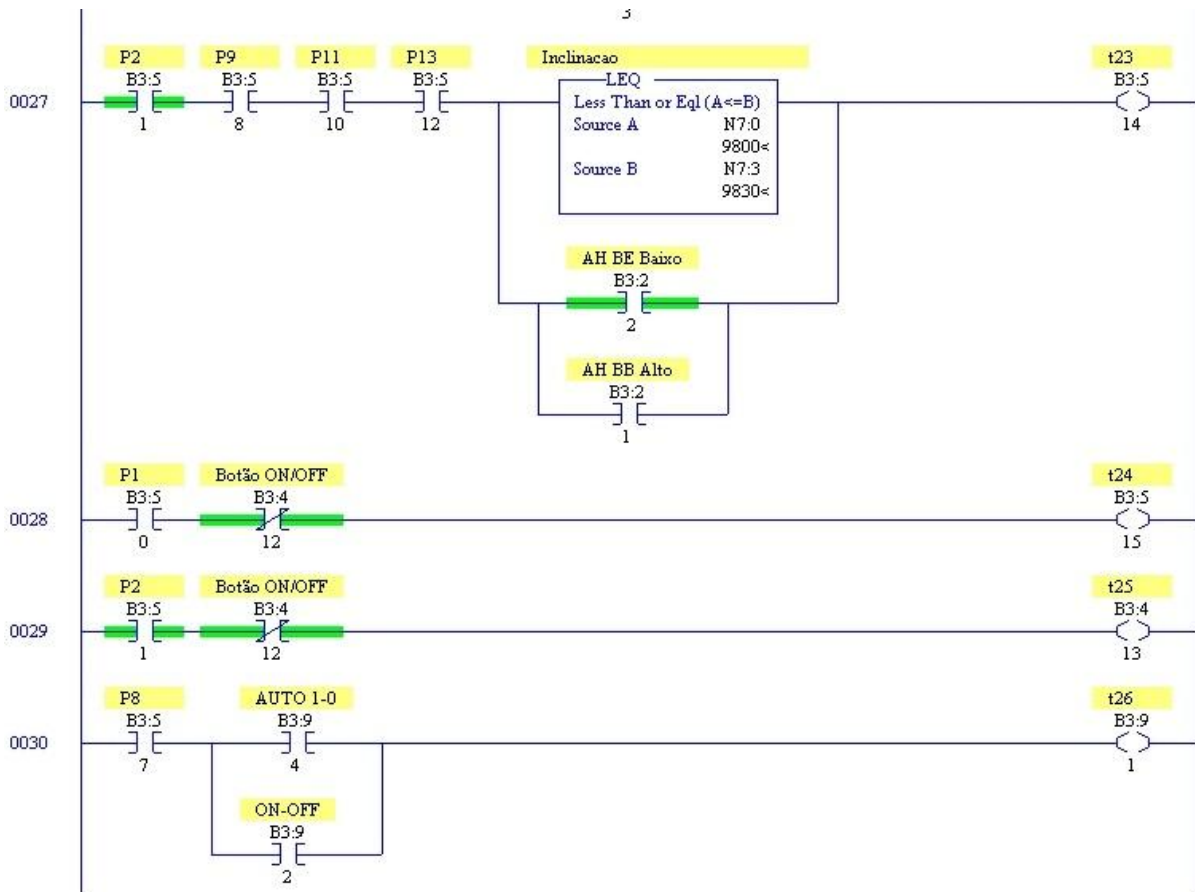


Módulo das condições para o disparo das transições

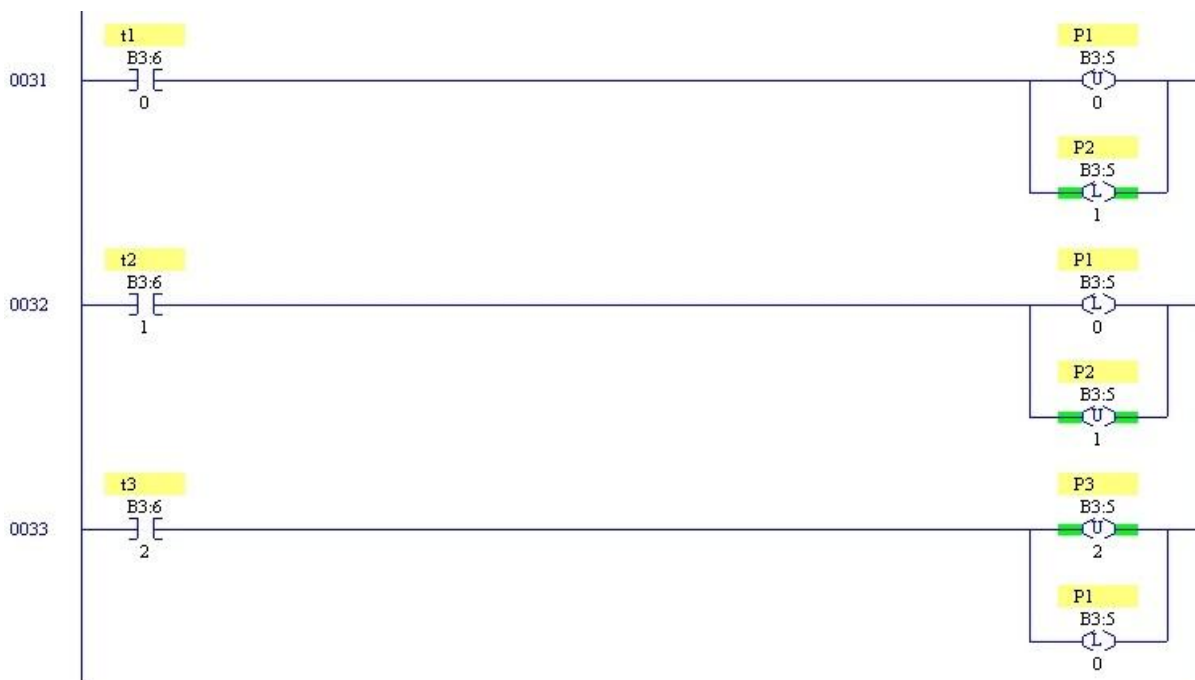


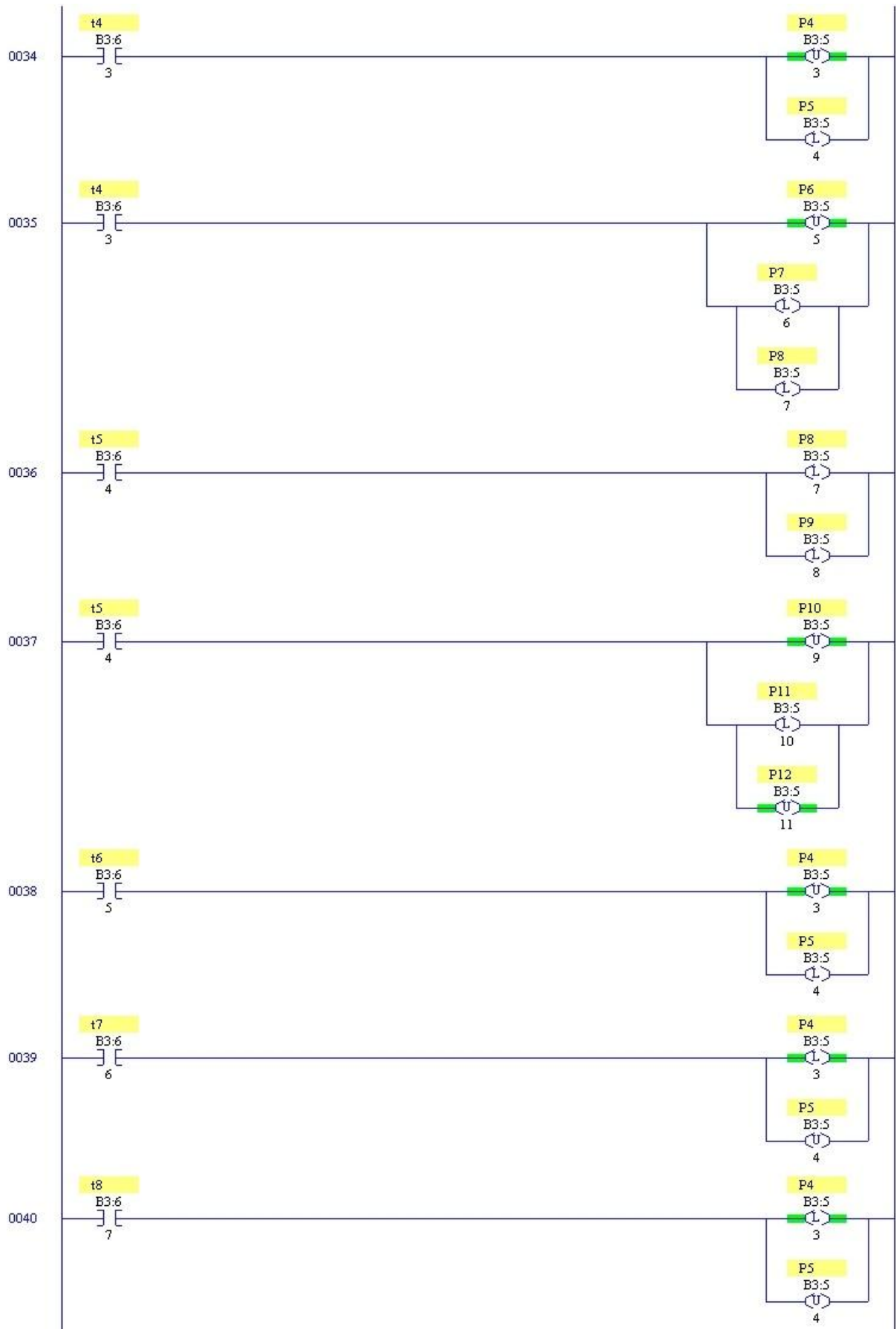


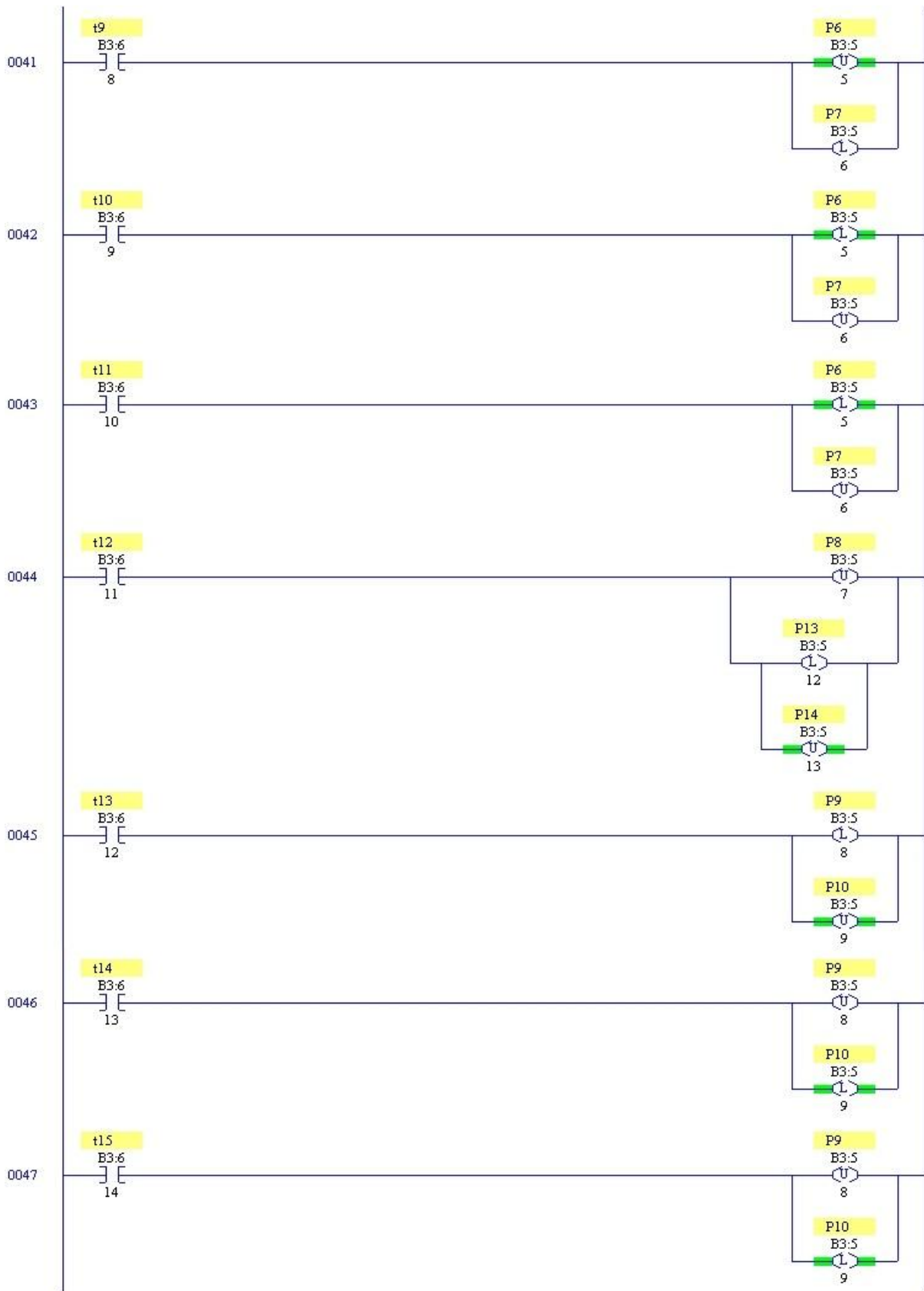


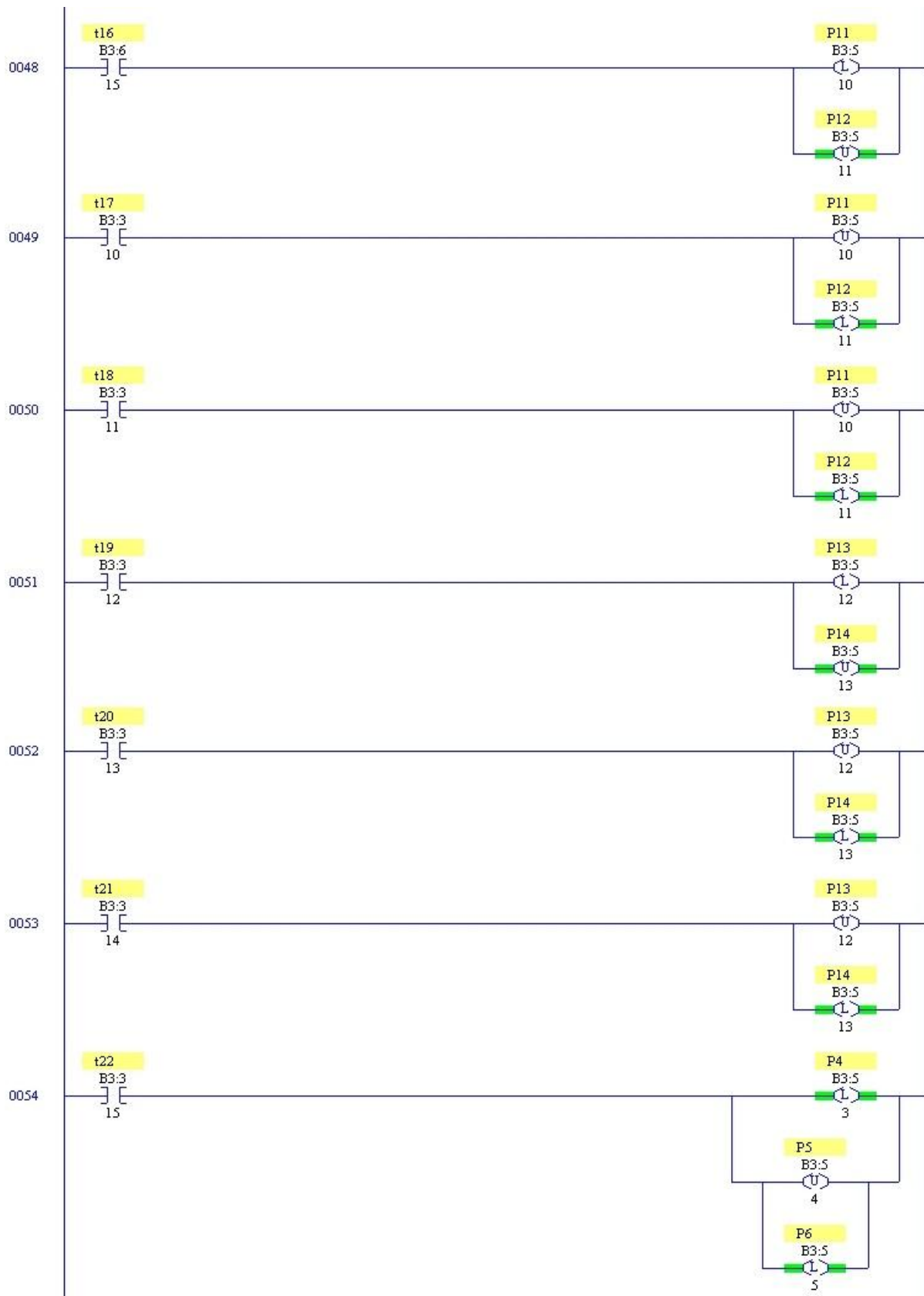


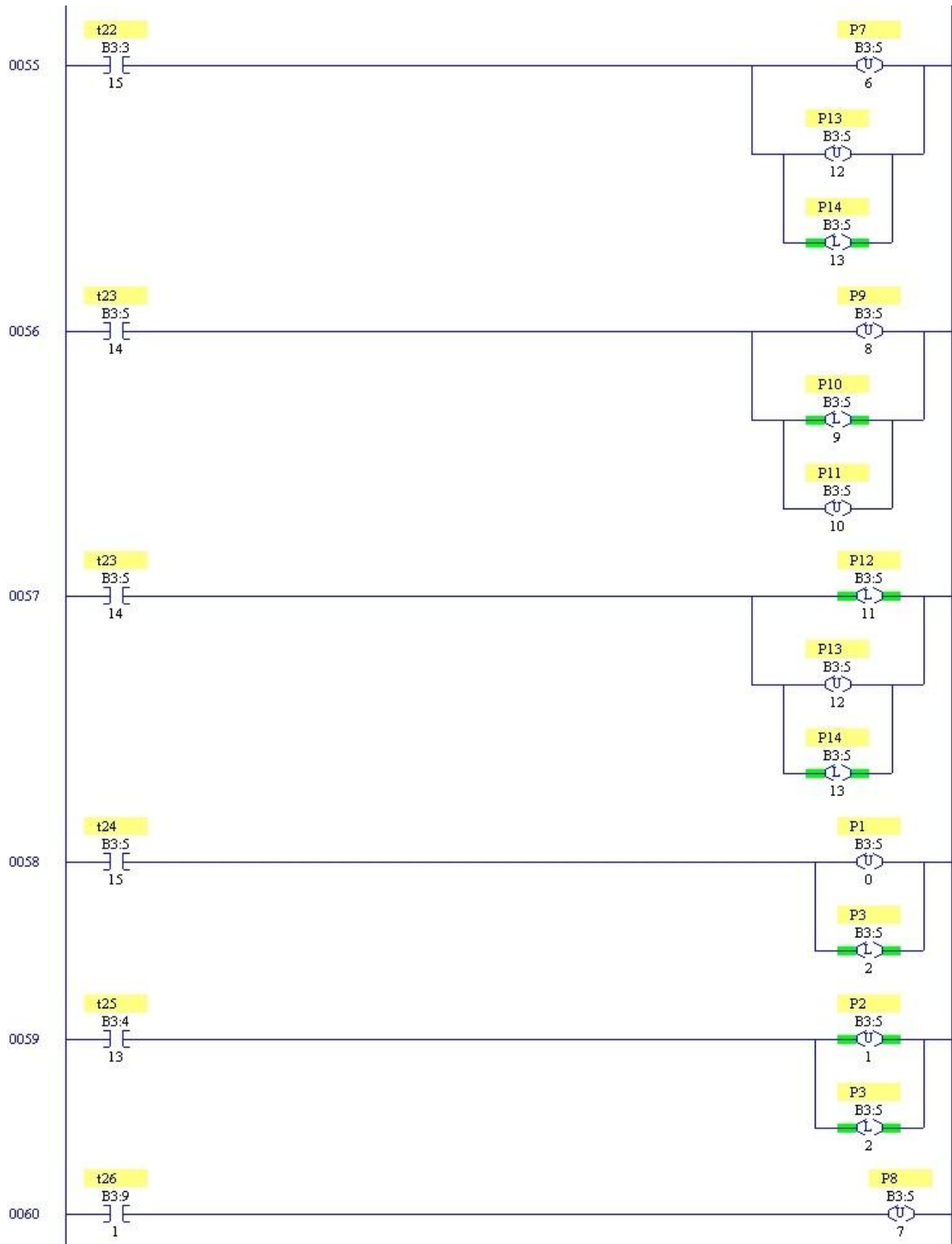
Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle











Módulo das ações

