

DAS Departamento de Automação e Sistemas
CTC **Centro Tecnológico**
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

Automação de Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico em CLP com Interface Homem-Máquina

*Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a aprovação na disciplina
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso*

Rodrigo Holz Schüler

Florianópolis, agosto de 2016

Automação de unidade de potência e condicionamento hidráulico em CLP com interface gráfica para operação

Rodrigo Holz Schüler

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina
DAS5511: Projeto de Fim de Curso
e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Prof. Victor Juliano De Negri

Assinatura do Orientador

Banca Examinadora:

Victor Juliano De Negri
Orientador na Empresa

Victor Juliano De Negri
Orientador no Curso

Paulo Leonel Teixeira
Orientador na Empresa

Marcelo de Lelis
Avaliador

Filipe Odozynski Silva
Tiago Nunes Resmini
Debatedores

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Victor Juliano De Negri pela orientação, pela oportunidade dada e pela confiança depositada em mim na realização desse trabalho no Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, LASHIP.

Agradeço também ao engenheiro Paulo Leonel Teixeira pelas inúmeras ideias discutidas e aprendizados passados, e aos colegas de laboratório pelo apoio e incentivo ao longo do projeto.

Agradeço ainda aos amigos da turma 2010.1 de Engenharia de Controle e Automação por tornarem a graduação uma fase memorável e à minha família e namorada pelo apoio financeiro e psicológico durante essa fase.

Resumo

Projeto final do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina que compreende a automação de uma Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH) considerando requisitos de desempenho, segurança e usabilidade. A automação foi implementada em um controlador lógico programável Siemens S7-200 em linguagem *Ladder* por meio do método passo-a-passo modelado em *Grafcet*. Criou-se uma interface homem-máquina para a operação do sistema através de um PC, implementada no *software* WinCC Flexible Advanced. A automação da unidade foi finalizada, com resultados satisfatórios, e a interface gráfica criada mostrou-se de fácil utilização.

Abstract

Final project from Control and Automation Engineering graduation course at Universidade Federal de Santa Catarina, which presents the automation of a Hydraulic Conditioning and Power Unit considering performance, security and usability requirements. The automation logic was implemented in a Programmable Logic Controller using Ladder programming language via step-by-step method modeled in Grafcet. A human-machine interface for system operation was designed and implemented in WinCC Flexible Advanced software. The unit automation was completed with satisfactory results and the GUI created proved to be easy to use.

Sumário

Capítulo 1: Introdução	12
Capítulo 2: Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico	14
2.1: Área de Potência e Condicionamento	15
2.1.1: QAE – Quadro de Alimentação Elétrica:	15
2.1.2: QD – Quadro de Distribuição;.....	15
2.1.3: UH – Unidade Hidráulica;	15
2.1.4: PI – Painel de Interligação;.....	15
2.1.5: PM – Painel de Monitoração.....	16
2.2: Área de Operação	17
2.2.1: BDA - Bancada de Testes	17
2.2.2: RAM – Rack de Acionamento e Monitoração	17
2.3: Detalhamento da Unidade Hidráulica.....	18
2.3.1: Alimentação Regulada 1	20
2.3.2: Alimentação Regulada 2	21
2.3.3: Alimentação Não-Regulada 3.....	23
2.3.4: Sistema de Controle de Temperatura.....	24
2.3.5: Linhas de Retorno	25
2.4: Detalhamento do Rack de Acionamento e Monitoração (RAM)	27
2.4.1: Painel Frontal	27
2.4.2: Controlador Lógico Programável (CLP) e Computador da Interface Homem-Máquina (PC)	29
2.4.3: Condicionamento de Sinais e Conexões Elétricas	30
2.5: Sensores e sinais da Unidade Hidráulica.....	31
2.5.1: Sensores da linha de Alimentação Regulada 1	32
2.5.2: Sensores da linha de Alimentação Regulada 2.....	32
2.5.3: Sensores da linha de Alimentação Não Regulada 3	32
2.5.4: Sensores das linhas de Retorno.....	33
2.5.5: Outros Sensores.....	33
Capítulo 3: Requisitos para a Automação do Sistema.....	34

3.1: Requisitos Operacionais	34
3.2: Requisitos Funcionais	35
Capítulo 4: Lógica de Funcionamento	37
4.1: Estado Inativo	39
4.2: Macroestado Ativando	39
4.3: Estado Ativo	41
4.4: Macroestado Suspendendo	41
4.5: Estado Suspenso	42
4.6: Macroestado Desativando	43
Capítulo 5: Desenvolvimento da Interface Homem-Máquina (IHM).....	44
5.1: Plataforma para desenvolvimento.....	44
5.2: Tela Inicial.....	45
5.3: Template	46
5.3.1: Diagrama de Circuito Hidráulico	46
5.3.2: Indicadores de estado dos componentes da UH	47
5.3.3: Botões para Estado Desejado das válvulas do PI	47
5.3.4: Botões Ativar, Suspende e Desativar	48
5.3.5: Indicadores de Estado do Sistema	49
5.3.6: Botões Alimentação Regulada 1, Alimentação Regulada 2, Alimentação Não-Regulada 3 e Referências Externas	50
5.3.7: Janela de Alarmes	50
5.3.8: Janela para configurar o Controle de Temperatura	51
5.3.9: Janela Erro Tolerável	51
5.4: Tela Alimentação Regulada 1	52
5.4.1: Submenu Degrau	54
5.4.2: Submenu Rampa.....	54
5.4.3: Submenu Senoidal	54
5.5: Tela Alimentação Regulada 2	55
5.5.1: Menu Acumulador	56
5.6: Tela Alimentação Não-Regulada 3	56
5.7: Tela Erro Semicrítico.....	57
5.8: Tela Erro Crítico	59
Capítulo 6: Implementação no CLP	61

6.1: Plataforma de desenvolvimento	61
6.2: Lógica de Estados Principal	61
6.3: Leitura da temperatura do fluido	63
6.4: Controle de Temperatura do Fluido	64
6.5: Verificação das Válvulas Manuais.....	65
6.6: Detecção de Erros Toleráveis	67
6.7: Detecção de Erros Semicríticos	67
6.8: Detecção de Erros Críticos	68
6.9: Função Degrau	70
6.10: Função Rampa.....	70
6.11: Função Senoidal	71
6.12: Conversão das referências para as saídas analógicas.....	73
6.12.1: Conversão de referências de pressão	73
6.12.2: Conversão de referências de vazão	75
6.13: Função Saturação.....	76
6.14: Verificação da IHM.....	77
6.15: Sub-rotina Desligar	78
Capítulo 7: Resultados	79
Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas	83
Bibliografia:.....	84
Apêndice A	85
Script Calcula_Valor_Temperaturas.....	85
Script Passa_Parametros_CLP	85
Apêndice B	87
Mensagens da Janela de Alarmes da IHM.....	87
Apêndice C	88
Bloco de Função Rampa: Implementação em <i>Ladder</i>	88

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema de ligações da UPCH	14
Figura 2 - Visão geral do Painel de Interligação.	16
Figura 3 - Sensores das válvulas manuais no Painel de Interligação.....	16
Figura 4 – Diagrama de circuito hidráulico da UH	19
Figura 5 - Diagrama do circuito hidráulico da linha 1.....	21
Figura 6 – Diagrama do circuito hidráulico da linha 2.....	23
Figura 7 – Diagrama do circuito hidráulico da linha 3.....	24
Figura 8 – Diagrama do circuito hidráulico do controle de temperatura	25
Figura 9 – Diagrama do circuito hidráulico da linha de retorno 1.....	26
Figura 10 – Diagrama do circuito hidráulico da linha de retorno 2.....	27
Figura 11 - Painel Frontal do RAM	28
Figura 12 – CLP Siemens e módulos atrás do RAM.	30
Figura 13 – Conexões elétricas (E) e amplificador Reivax APX200 (D).	31
Figura 14 – Grafcet com o comportamento definido para o sistema	38
Figura 15 – Estado Inativo e suas ações.....	39
Figura 16 – Sequenciamento de ações do macroestado Ativando.....	40
Figura 17 – Sequência de ações do macroestado Suspendendo.	42
Figura 18 – Sequência de ações do macroestado Desativando.....	43
Figura 19 – Tela Inicial da IHM da UPCH.....	45
Figura 20 – Template criado para a IHM da UPCH.	46
Figura 21 – Indicador do estado do motor elétrico (a) e estado desejado das válvulas manuais no PI (b).	48
Figura 22 – Detalhe dos botões Ativar, Suspende e Desativar.	48
Figura 23 – Quadro com indicadores do estado atual do sistema.	49
Figura 24 – Botões para configuração de parâmetros das linhas 1, 2 e 3.....	50
Figura 25 – Janela de Alarmes.....	51
Figura 26 – Janela para configuração do controle de temperatura.	51
Figura 27 - Janela Erro Tolerável.	52
Figura 28 – Tela Alimentação Regulada 1.....	52
Figura 29 – Menus para saída em pressão (E) e vazão (D) da linha 1	53

Figura 30 – Submenu para saída do tipo degrau de pressão.....	54
Figura 31 – Submenu para saída em rampa de pressão.....	54
Figura 32 – Submenu para saída senoidal de vazão	55
Figura 33 - Tela Alimentação Regulada 2.	55
Figura 34 – Detalhe dos três menus dos parâmetros de uso da linha 2.....	56
Figura 35 – Tela Alimentação Não Regulada 3.	57
Figura 36 – Tela Erro Semicrítico.	58
Figura 37 – Tela Erro Crítico.	59
Figura 38 – Padrão de programação da lógica de estados	62
Figura 39 – Método passo-a-passo em Ladder do estado Desativando.....	62
Figura 40 – Método passo-a-passo do estado Inativo e suas ações.....	63
Figura 41 – Sub-rotina Leitura_Temperatura.....	64
Figura 42 – Implementação do controle de temperatura em Ladder.	65
Figura 43 – Verificação da posição das válvulas manuais da linha 1	66
Figura 44 – Verificação da posição das válvulas manuais do retorno.	66
Figura 45 – Detecção do ensujamento dos filtros e nível de óleo	67
Figura 46 – Implementação da detecção dos Erros Semicríticos.....	68
Figura 47 – Detecção da mudança da posição das válvulas manuais	69
Figura 48 – Bloco da função Degrau	70
Figura 49 – Bloco de Função Rampa.	71
Figura 50 – Bloco da função Senoide.....	72
Figura 51 – Gráfico tensão x pressão e aproximação linear para calibração .	74
Figura 52 – Bloco de função Conv_Bar_p_Registrador.....	75
Figura 53 – Bloco de função Conv_Lmin_p_Registrador.	76
Figura 54 – Bloco Saturacao_Saida	77
Figura 55 – Lógica da verificação da IHM implementada em Ladder.....	78
Figura 56 - Subrotina Desligar implementada em Ladder.	78
Figura 57 – Computador portátil e DAQ AQX 4350	79
Figura 58 - Saídas rampa, degrau e senoidal para regulação de pressão	80
Figura 59 - Saídas rampa, degrau e senoidal para regulação de vazão	80
Figura 60 - Saída analógica saturada em 50 l/min	81
Figura 61 - Sequência de suspensão do sistema.....	81

Capítulo 1: Introdução

A realização de testes e ensaios é de suma importância na engenharia. Com eles pode-se colocar um produto ainda em fase de desenvolvimento à prova, assegurando um desempenho satisfatório quando em operação, por exemplo. É possível também verificar alterações em um equipamento após um certo período de utilização, levantando dados para o desenvolvimento de uma nova versão desse equipamento, em melhoria contínua.

Para que esses testes e ensaios possam ser realizados de maneira confiável é importante que haja um controle dos parâmetros de ensaio, evitando uma grande variabilidade nos critérios do teste e sua conseqüente influência nos resultados.

Uma das maneiras de garantir uma baixa variabilidade nos parâmetros de ensaios é a utilização de equipamentos automatizados, onde diminui-se a possibilidade de erro humano, além de melhorar a segurança na operação do equipamento de teste. É nesse contexto que esse trabalho se insere.

A Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico do Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos – LASHIP da Engenharia Mecânica da UFSC é uma bancada desenvolvida para proporcionar potência hidráulica – pressão e vazão – para testes em sistemas hidráulicos em geral. Apesar dessa bancada já dispor de vários dispositivos que facilitariam a automação, até o início deste trabalho, a mesma era operada manualmente.

O objetivo deste trabalho é, portanto, a automação desse sistema, desde o desenvolvimento de uma lógica de funcionamento, implementação dessa lógica em um controlador lógico programável até a criação de uma interface gráfica para operação respeitando pré-requisitos de segurança, usabilidade e desempenho.

Nos próximos 4 capítulos serão apresentados a Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico em si, os pré-requisitos para o desenvolvimento da automação da unidade, a criação da interface gráfica para operação e as implementações da lógica realizadas no controlador lógico programável. Ao final

apresenta-se um capítulo com os resultados obtidos e uma conclusão do trabalho realizado.

Capítulo 2: **Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico**

A Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH) é um sistema desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos (LASHIP) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina que tem a finalidade de fornecer condições adequadas para a realização de experimentos e testes de sistemas hidráulicos [1].

Nesse capítulo serão apresentados os subsistemas que compõem a UPCH, bem como serão ressaltados os subsistemas mais importantes para o entendimento do trabalho desenvolvido, detalhando-os.

A UPCH é dividida em duas áreas majoritárias: a Área de Potência e Condicionamento (APC) e a Área de Operação (AOP). Um esquemático da UPCH pode ser visto na Figura 1.

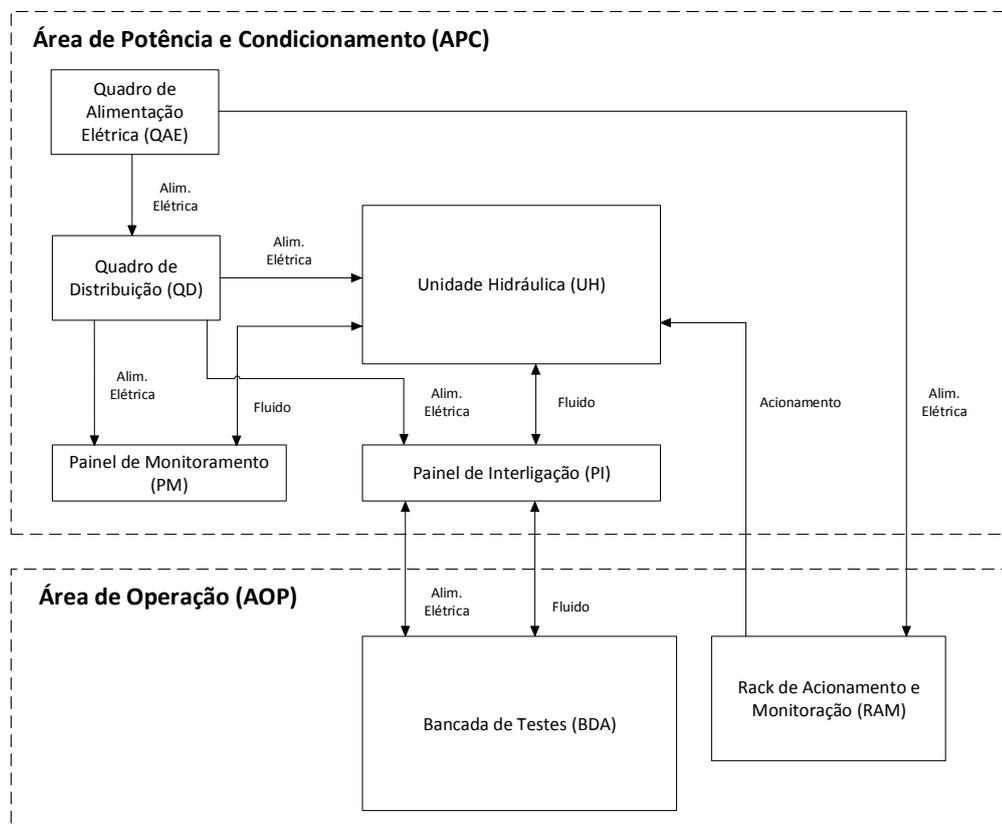


Figura 1 - Esquema de ligações da UPCH

2.1: Área de Potência e Condicionamento

A Área de Potência e Condicionamento (APC) é responsável por fornecer o fluido para algum circuito hidráulico de acordo com parâmetros de pressão e vazão determinados pelo operador na Área de Operação (AOP) e é formada pelos seguintes subsistemas:

2.1.1: QAE – Quadro de Alimentação Elétrica:

No Quadro de Alimentação Elétrica estão localizados os disjuntores e outros dispositivos de segurança para proteção da parte elétrica. É dele que partem os cabos de alimentação que conduzem energia a todos os equipamentos que usam eletricidade da UPCH [1].

2.1.2: QD – Quadro de Distribuição;

Parte dos cabos elétricos que saem do QAE passam pelo Quadro de Distribuição. O Quadro de Distribuição (QD) distribui a energia elétrica entre todos os componentes da APC.

2.1.3: UH – Unidade Hidráulica;

A Unidade Hidráulica (UH) é composta por motores elétricos, bombas, válvulas e tubulação que são responsáveis por fornecer potência hidráulica (pressão e vazão) para outro sistema conectado à UPCH na Área de Operação. Na Unidade Hidráulica também há um sistema para controle de temperatura do fluido, possibilitando aquecer ou resfriar o mesmo. A UH será explicada em detalhes na seção 2.3:.

2.1.4: PI – Painel de Interligação;

O painel de interligação (PI) serve como interface entre a Unidade Hidráulica e o sistema que receberá a potência hidráulica gerada pela UH. O PI é composto por válvulas esféricas manuais, que liberam o fornecimento de fluido da UH para o sistema hidráulico acoplado. Também possui válvulas de retorno para que o fluido volte ao reservatório da UH. Uma visão geral do PI pode ser vista na Figura 2. Todas as

válvulas manuais possuem sensores de fim de curso para indicar a posição em que se encontram (ver Figura 3).

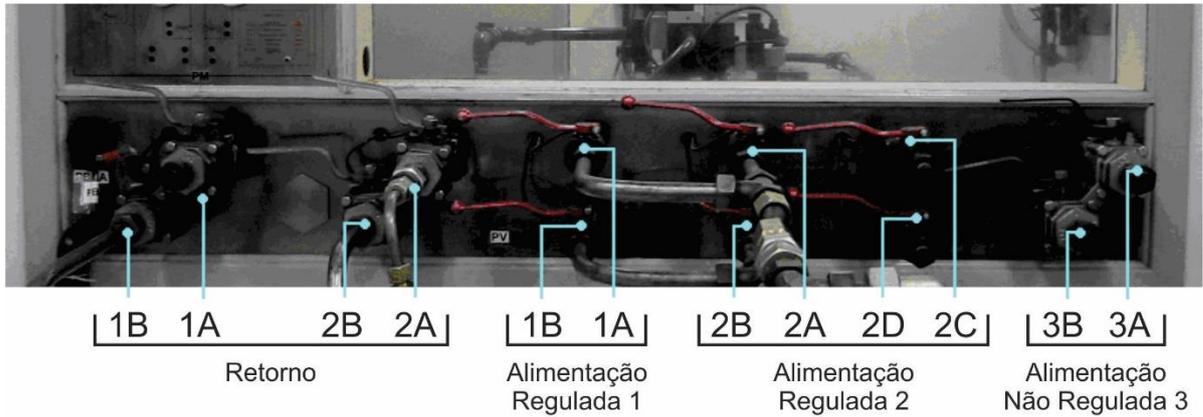


Figura 2 - Visão geral do Painel de Interligação. Imagem adaptada de [1].

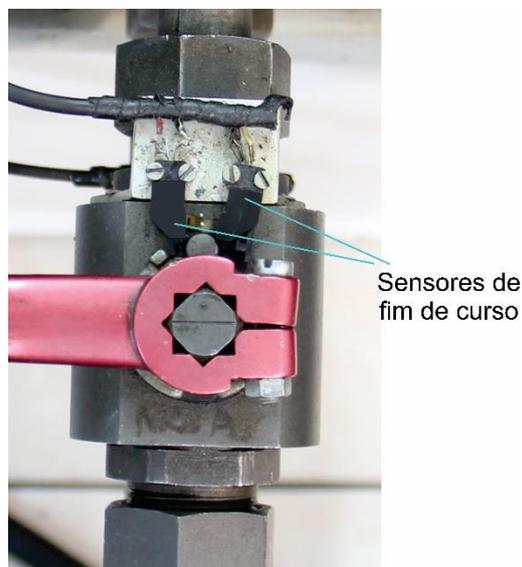


Figura 3 - Detalhe dos sensores de fim de curso das válvulas manuais no Painel de Interligação

2.1.5: PM – Painel de Monitoração.

O painel de monitoração serve para o operador monitorar o estado dos atuadores e válvulas do sistema. É composto por um diagrama hidráulico gravado em uma placa de metal e LEDs que sinalizam o estado de cada componente (válvula aberta ou fechada, motor elétrico ligado ou desligado, controle de temperatura ligado ou desligado, entre outros). Há ainda manômetros analógicos para monitoração da pressão.

2.2: Área de Operação

A Área de Operação (AOP) da UPCH é composta por elementos em que o operador pode interagir e controlar para realizar os experimentos em seu sistema hidráulico. A AOP é composta por dois principais componentes: a bancada de testes (BDA) e o Rack de Acionamento e monitoração (RAM), que são detalhados nas próximas seções.

2.2.1: BDA - Bancada de Testes

A BDA é uma estrutura onde são montados os componentes hidráulicos para a execução dos testes. A BDA é uma mesa de material metálico e possui canaletas que permitem fixar os componentes hidráulicos como cilindros e válvulas por meio de parafusos. Isso evita que furos sejam feitos na mesa, preservando-a por mais tempo. As canaletas também têm a função de captar o fluido de eventuais vazamentos e direcioná-lo para um reservatório auxiliar e que pode ser posteriormente transferido para o reservatório principal, possibilitando o reaproveitamento do fluido.

2.2.2: RAM – Rack de Acionamento e Monitoração

O RAM é um gabinete localizado próximo à bancada de testes e possui diversos componentes essenciais para a utilização da UPCH.

No RAM situam-se circuitos eletro/eletrônicos utilizados para o condicionamento de sinais elétricos diversos – sinais dos sensores da UH, sinais enviados aos solenoides das válvulas proporcionais de regulação de pressão e vazão, sinais para acionamento dos motores elétricos, entre outros. Há ainda no RAM o controlador de temperatura do sistema, CLP programado com a lógica de funcionamento e um PC utilizado para rodar a interface gráfica do sistema.

Além disso, há botões e chaves para a operação do sistema no painel frontal do RAM.

O Rack de Acionamento e Monitoração será detalhado na seção 2.4:.

2.3: Detalhamento da Unidade Hidráulica

Para entendimento pleno deste trabalho é especialmente importante compreender a arquitetura e componentes que formam a Unidade Hidráulica (UH), que será detalhada a seguir.

A UH é responsável por gerar e fornecer potência hidráulica para outros sistemas. Ela é composta por três linhas de fornecimento distintas e independentes, permitindo então que três tipos de saídas, com diferentes parâmetros de pressão e vazão, possam ser fornecidos aos sistemas conectados à UPCH ao mesmo tempo. Há ainda um subsistema para controle de temperatura, um acumulador de pressão, filtros, e um reservatório de óleo com capacidade de cerca de 600 litros. A Figura 4 mostra o circuito hidráulico completo da UH, junto com as válvulas manuais que compõem o Painel de Interligação. As linhas 1, 2 e 3, linhas de retorno e sistema de controle de temperatura serão detalhados nas próximas seções.

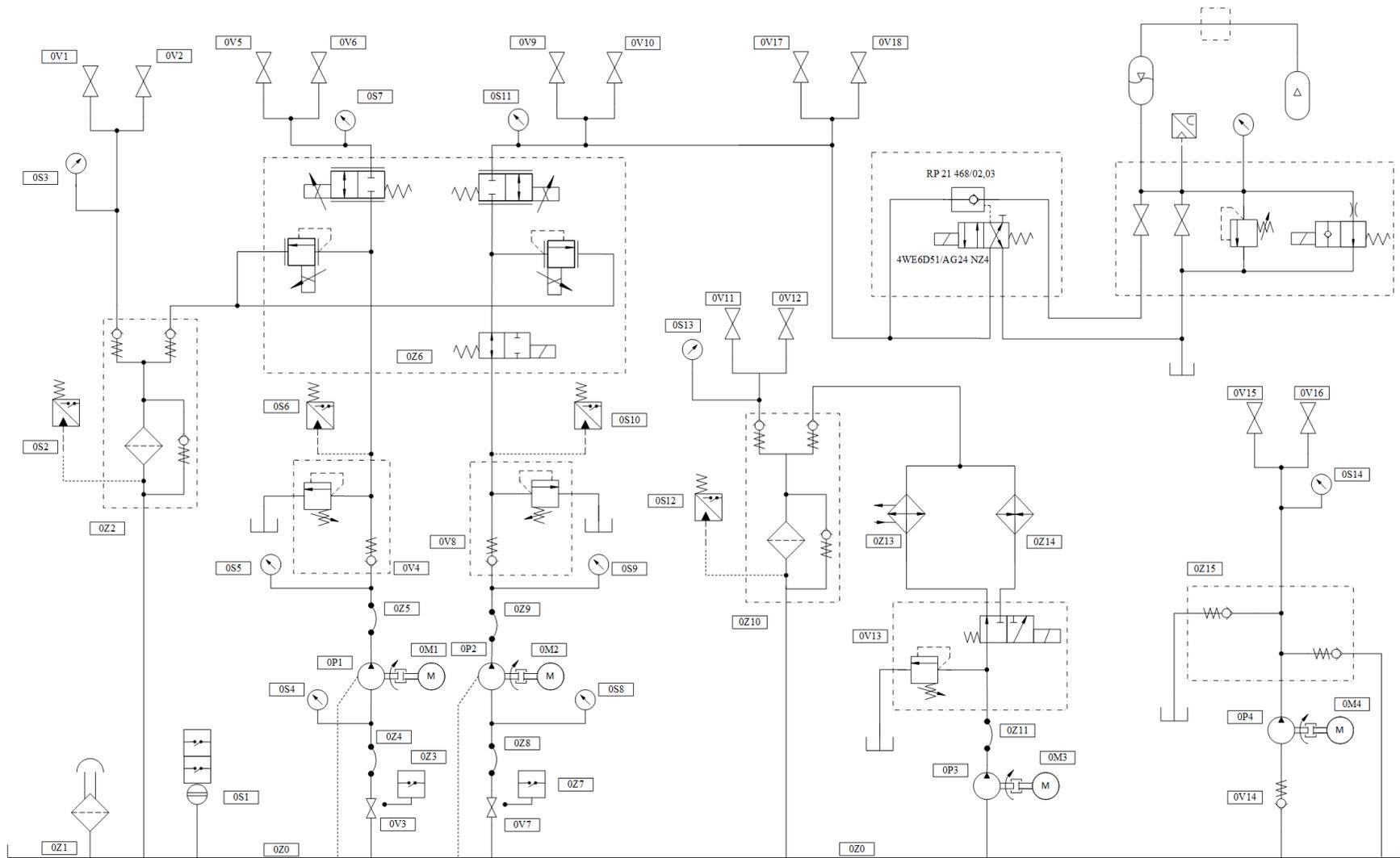


Figura 4 – Diagrama de circuito hidráulico da UH.

2.3.1: Alimentação Regulada 1

A linha de alimentação regulada 1 é uma das linhas de fornecimento de potência hidráulica da UH. Ela é uma linha regulada, i.e., é possível regular vazão e pressão de fornecimento através de válvulas proporcionais, acionadas eletricamente. Por questões de segurança, a válvula de regulação de pressão é normalmente aberta, e a válvula de regulação de vazão é normalmente fechada.

Seu sistema de bombeamento é composto por um motor de indução trifásico WEG modelo 180M 1189 de 30cv e uma bomba de engrenagens Rexroth A2F 28R3P4 [1], que juntos podem fornecer uma vazão de até 50 l/min. O acionamento do motor de indução trifásico é feito com ligação do tipo estrela para diminuir a corrente elétrica de partida do motor, e após cerca de 8 s o tipo de ligação chaveia para triângulo, que proporciona um maior torque. Há uma recomendação, portanto, para evitar a partida do motor já com carga devido ao torque reduzido da ligação do tipo estrela.

A saída do fluido da linha 1 se dá através de duas válvulas manuais no PI, denominadas válvulas 1A e 1B.

Existem ainda válvulas de segurança que permitem a passagem do fluido para o reservatório em caso de excesso de pressão e impedem o retorno do fluido na linha, evitando assim danos na bomba de engrenagens e motor elétrico, além de um sensor que indica quando a pressão está elevada.

O circuito hidráulico da linha de Alimentação Regulada 1 pode ser vista na Figura 5.

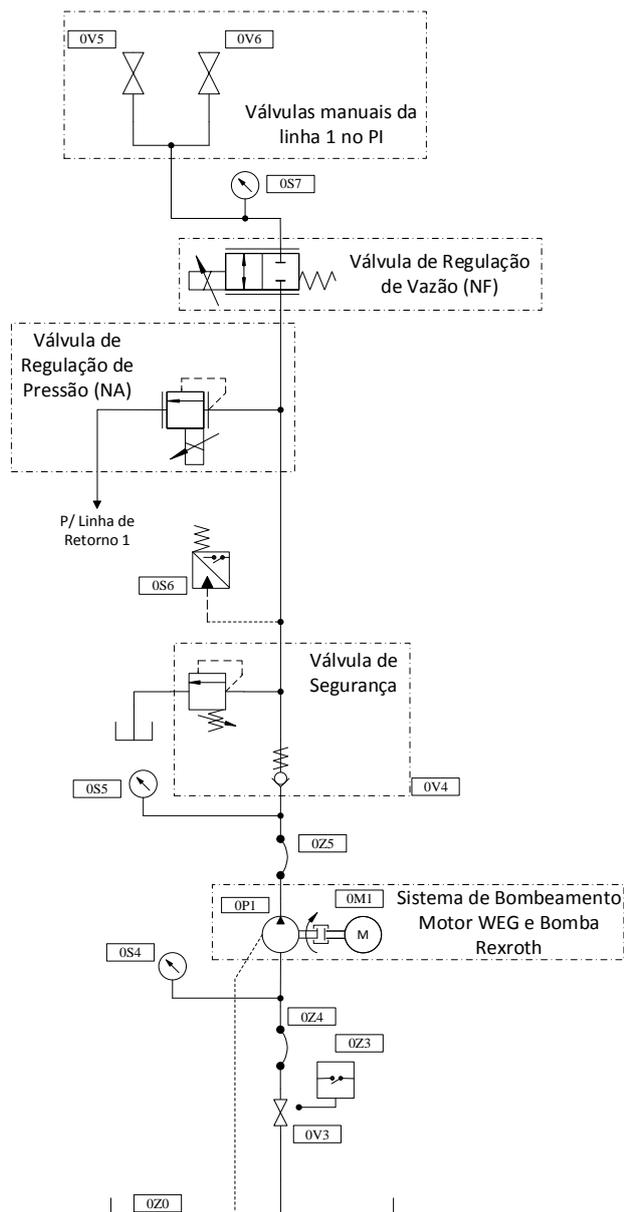


Figura 5 - Diagrama do circuito hidráulico da linha de Alimentação Regulada 1

2.3.2: Alimentação Regulada 2

Semelhante à linha 1, a linha de alimentação regulada 2 também possui válvulas proporcionais para regulação da pressão e vazão de fornecimento, acionadas eletricamente.

O sistema de bombeamento é idêntico ao da linha de alimentação regulada 1, um motor de indução trifásico WEG modelo 180M 1189 de 30 cv e uma bomba de engrenagens Rexroth A2F 28R3P4, que fornecem uma vazão de até 50 l/min. Assim como na linha 1 o acionamento do motor de indução trifásico é feito com ligação do

tipo estrela para diminuir a corrente elétrica de partida do motor, e após cerca de 8s o tipo de ligação chaveia para ligação do tipo triângulo, que proporciona um maior torque.

Também estão presentes na linha 2 as válvulas de segurança que permitem a passagem do fluido para o reservatório em caso de excesso de pressão, e impedem o retorno do fluido na linha. Há um sensor para indicar caso ocorra excesso de pressão.

A linha 2, entretanto, difere da linha 1 em dois aspectos. O primeiro é o número de conexões no Painel de Interligação. Enquanto a linha 1 possui duas saídas no PI, a linha de alimentação regulada 2 possui quatro saídas. Todas elas são através de válvulas manuais, denominadas 2A, 2B, 2C e 2D.

A outra diferença em relação a linha 1 é a presença de um acumulador hidráulico. Um acumulador hidráulico pode ter várias funções, sendo as principais o armazenamento de energia, a estabilização da pressão e a reserva de fluido. O acumulador presente na linha de alimentação regulada 2 é do tipo cilíndrico hidropneumático – pré-carga é feita com gás – com capacidade para 50L de fluido, com membrana como elemento separador entre o gás e o fluido hidráulico.

O circuito com acumulador possui válvulas adicionais para segurança, uma vez que o acumulador é um vaso de pressão e pode armazenar bastante energia. Há uma válvula normalmente aberta acionada eletricamente para impedir a descarga do acumulador, i.e., quando não acionada ocorre a descarga do acumulador, e uma válvula normalmente fechada acionada eletricamente para permitir que o acumulador seja carregado. Portanto, para carregar o acumulador é necessário acionar ambas as válvulas, uma para impedir o descarregamento e outra para permitir o carregamento do acumulador. A pressão no acumulador é regulada pela válvula de regulação de pressão da linha 2.

O circuito hidráulico da linha de alimentação regulada 2 pode ser vista na Figura 6.

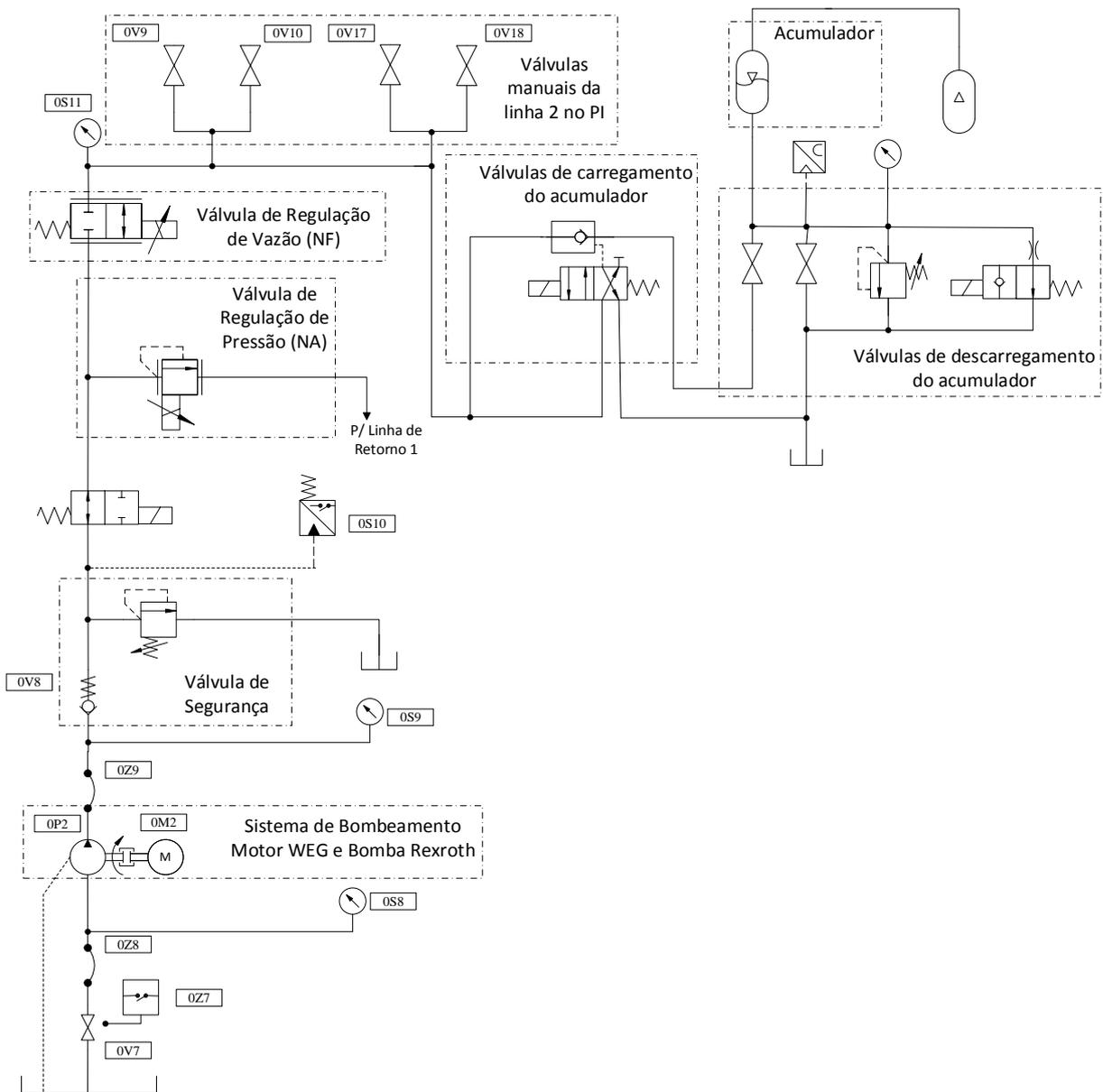


Figura 6 – Diagrama do circuito hidráulico da linha de Alimentação Regulada 2

2.3.3: Alimentação Não-Regulada 3

A terceira linha de alimentação da Unidade Hidráulica é uma linha simples, não regulada. Pressão e vazão nessa linha dependem do sistema de bombeamento, composto por uma bomba centrífuga Schneider modelo 20082 de 0,75 cv [1], e do circuito hidráulico conectado no Painel de Interligação. A ligação entre o sistema de bombeamento e as duas válvulas manuais do PI, denominadas 3A e 3B, é direta, com

exceção das válvulas de segurança que liberam a passagem do fluido da linha para o reservatório em caso de excesso de pressão.

O diagrama do circuito hidráulico da linha de alimentação não regulada 3 pode ser visto na Figura 7.

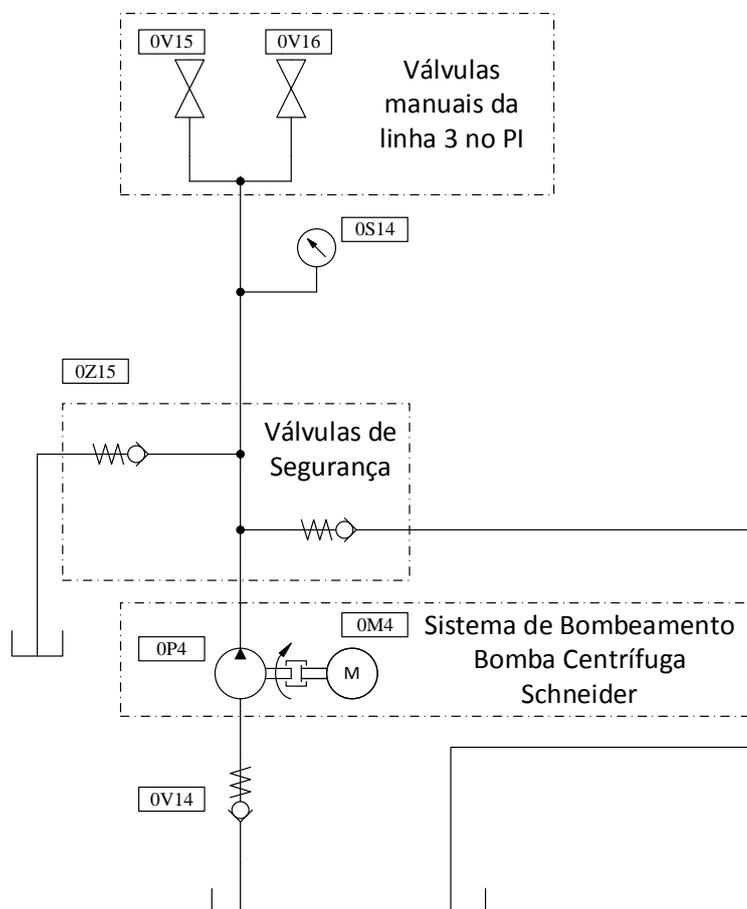


Figura 7 – Diagrama do circuito hidráulico da linha de alimentação não regulada 3

2.3.4: Sistema de Controle de Temperatura

A Unidade Hidráulica possui um sistema para controle da temperatura do fluido. Com ele é possível aquecer o mesmo até uma temperatura desejada de operação, e resfriá-lo em caso de aquecimento devido ao trabalho sofrido durante o funcionamento da UH, mantendo assim o fluido sempre próximo à temperatura ideal de operação.

O bombeamento do fluido do sistema de controle de temperatura é feito por uma bomba de engrenagens Bosch, acoplada a um motor de indução trifásico WEG 90L 1189 de 3 cv [1].

O aquecimento do fluido é realizado por um trocador de calor Palley F12-69 de 9000 W. O resfriamento, por sua vez, é realizado por um trocador de calor do tipo casca e tubo, e uma bomba centrífuga é utilizada para circular água fria através do trocador [1].

Uma válvula direcional acionada eletricamente faz com que o fluido passe através do sistema de aquecimento ou do sistema de resfriamento, dependendo de sua posição. Junto a ela há também uma válvula de segurança que permite ao fluido retornar ao reservatório em caso de pressão excessiva na linha.

O diagrama do circuito hidráulico do sistema de controle de temperatura pode ser visto na Figura 8.

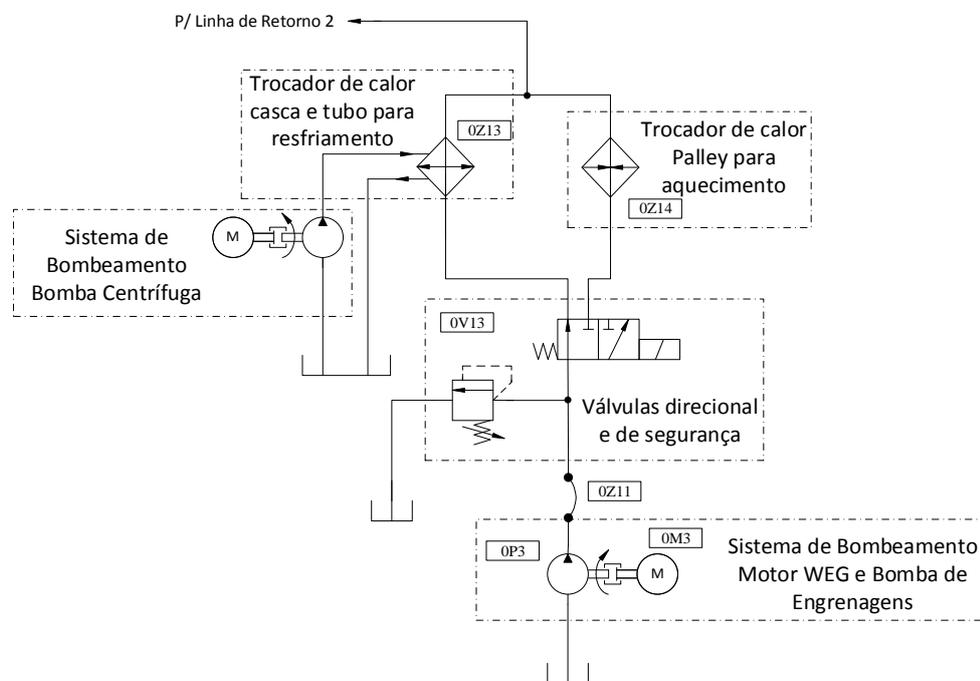


Figura 8 – Diagrama do circuito hidráulico do sistema para controle de temperatura do fluido

2.3.5: Linhas de Retorno

Para que o fluido possa retornar da Área de Operação ao reservatório são utilizadas duas linhas de retorno. A conexão das linhas de retorno com a AOP é feita através de 4 válvulas manuais no Painel de Interligação, denominadas válvulas de retorno 1A, 1B, 2A e 2B.

A linha de retorno 1 possui um filtro da marca HDA, modelo FRT 2001016 [1] e válvulas de segurança que permitem ao fluido circular mesmo em caso de entupimento do filtro e impedem que o fluido retorne à AOP pelas linhas de retorno. Há ainda um sensor que indica quando o filtro está excessivamente sujo.

A linha de retorno 1 também recebe o fluido que passa através da válvula de regulação de pressão das linhas 1 e 2 da UH.

A Figura 9 mostra o circuito hidráulico da linha de retorno 1.

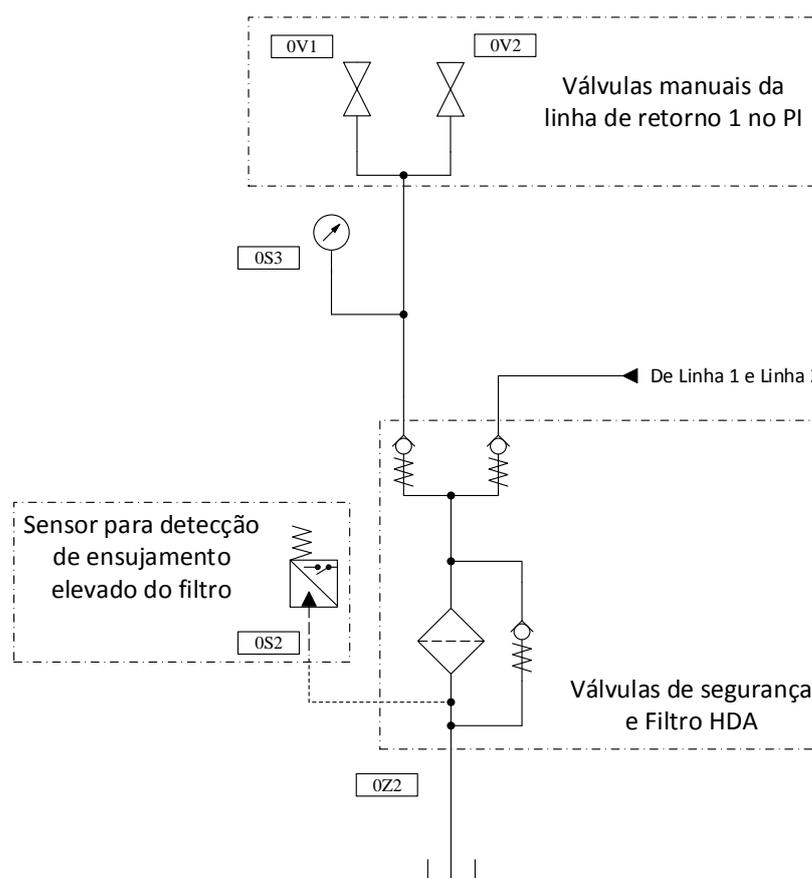


Figura 9 – Diagrama do circuito hidráulico da linha de retorno 1

A linha de retorno 2 (ver Figura 10) é semelhante à linha de retorno 1, e também conta com um filtro para manter o óleo livre de impurezas que podem afetar a qualidade e o comportamento do mesmo. As válvulas de segurança são idênticas à linha de retorno 1, e também há um sensor para detecção de excesso de impurezas no filtro.

A linha de retorno 2 recebe o fluido que passou pelo sistema de aquecimento ou resfriamento do controle de temperatura.

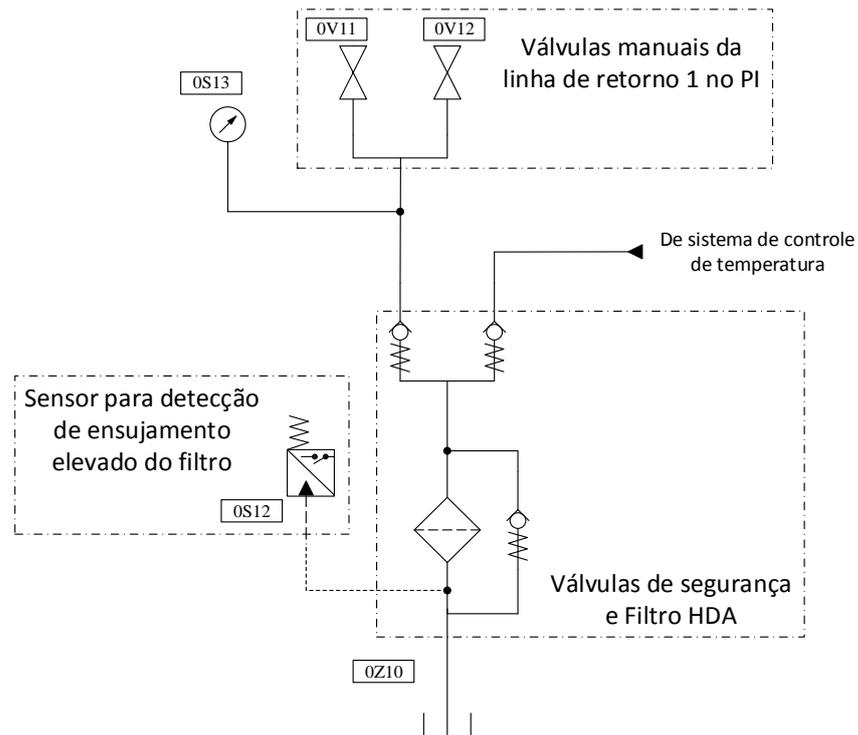


Figura 10 – Diagrama do circuito hidráulico da linha de retorno 2 da UH

2.4: Detalhamento do Rack de Acionamento e Monitoração (RAM)

Assim como a Unidade Hidráulica (UH – seção 2.3:), compreender a arquitetura e funcionamento do Rack de Acionamento e Monitoração é imprescindível para o entendimento deste trabalho.

2.4.1: Painel Frontal

É no painel frontal do RAM que o operador interage com a Unidade Hidráulica. Nele o operador tem acesso a botões, chaves e conectores para o acionamento do sistema em modo manual ou acesso ao computador para acionamento em modo automatizado (ver Figura 11).

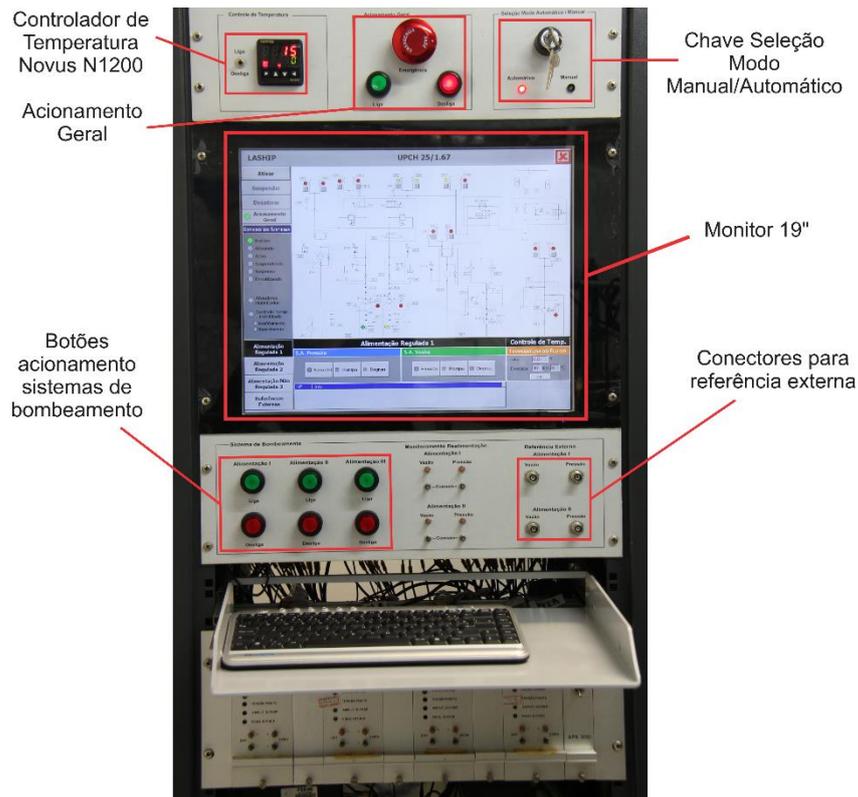


Figura 11 - Painel Frontal do RAM

Na parte superior do painel frontal, ao centro, se encontram os comandos para o Acionamento Geral da Unidade Hidráulica. Essa parte possui um botão para energizar a UH, um botão para desligar a UH, e um botão de emergência para eventuais situações emergenciais (ver Figura 11).

Ainda na parte superior, à direita, encontra-se uma chave para seleção do modo de acionamento da UH: modo manual ou modo automático. No modo manual a operação é feita exclusivamente através dos botões, chaves e conectores que se encontram no Painel Frontal do RAM, de maneira direta. Quando o modo automático é selecionado, o acionamento dos componentes da UH é feito por um CLP de acordo com os parâmetros definidos em uma Interface Homem-Máquina (IHM) pelo operador. LEDs indicam ao operador qual modo está selecionado (ver Figura 11).

No lado esquerdo da parte superior do painel frontal localiza-se o controlador de temperatura Novus N1200, responsável por acionar, no modo manual, o sistema de aquecimento ou resfriamento do fluido na UH de acordo com a necessidade e parâmetros definidos internamente no controlador. O acionamento do sistema de aquecimento ou resfriamento do fluido no modo automático é feito pelo CLP. A leitura

da temperatura do fluido é feita por um termopar do tipo J, conectado diretamente ao controlador Novus N1200, que suporta esse tipo de transdutor. A leitura da temperatura é retransmitida para uma entrada analógica do CLP em corrente 0-20 mA. Uma chave ao lado do controlador Novus N1200 liga ou desliga o mesmo (ver Figura 11).

Logo abaixo desses três elementos encontra-se um monitor de 19", onde uma Interface Homem-Máquina (IHM) para operação é mostrada quando o modo automático está selecionado. A IHM é executada por um PC instalado na parte interna do gabinete do RAM (ver seção 2.4.2:).

No painel frontal encontram-se também botões para acionamento dos sistemas de bombeamento das três linhas de alimentação da UH no modo manual, conectores coaxiais para a utilização de referências externas de vazão e pressão e um teclado utilizado para a entrada de parâmetros na IHM pelo operador quando no modo automático (ver Figura 11).

2.4.2: Controlador Lógico Programável (CLP) e Computador da Interface Homem-Máquina (PC)

O Rack de Acionamento e Monitoração tem a função de fixar elementos importantes para o funcionamento da UH em modo automático, como CLP e o PC que executa a IHM do sistema.

O CLP Siemens modelo S7-200 CPU 226 é responsável pelo acionamento dos componentes da UH de acordo com a lógica programada internamente e parâmetros definidos na IHM pelo operador. O CLP localiza-se na parte de trás do RAM e possui 24 entradas digitais 0-24 V e 16 saídas do tipo relé, suportando até sete módulos de expansão [2]. Para possibilitar o uso dos diversos sensores presentes na UH, dois módulos Siemens EM221 com 16 entradas digitais 0-24 V cada e um módulo Siemens EM221 com 8 entradas digitais 0-24 V estão conectados adicionalmente ao CLP, totalizando 64 entradas digitais disponíveis.

Para o acionamento das válvulas proporcionais de regulação de pressão e vazão da UH dois módulos Siemens EM235 com quatro entradas e uma saída analógica cada, e um módulo EM232 com duas saídas analógicas estão conectados

ao CLP. Dessa forma totalizam-se quatro saídas analógicas, com saídas em tensão ($\pm 10\text{ V}$) ou corrente ($0\text{-}20\text{ mA}$) [2], e oito entradas analógicas configuráveis em tensão (variando em diferentes níveis de $\pm 25\text{ mV}$ até $\pm 10\text{ V}$) ou corrente ($0\text{-}20\text{ mA}$). A Figura 12 mostra o CLP Siemens e os módulos de expansão na parte de trás do RAM.



Figura 12 – CLP Siemens S7-200 CPU 226 e módulos EM221 com 16 saídas (x2), EM221 com 8 saídas, EM235 (x2) e EM232 atrás do RAM.

O PC é responsável pela execução da aplicação da Interface Homem-Máquina (IHM). O mesmo localiza-se na parte interna do Rack de Acionamento e Monitoração e possui um processador *Intel Pentium Dual Core* de 1,8 GHz, com 1 GB de memória RAM e 80 GB de disco rígido. O sistema operacional é o Windows XP. A comunicação com o CLP é feita através de uma porta serial RS-485.

Há ainda no RAM uma fonte de alimentação elétrica de $24\text{ V} / 15\text{ A}$, que alimenta os módulos de expansão do CLP e energiza sensores da UH.

2.4.3: Condicionamento de Sinais e Conexões Elétricas

Como dito na seção 2.4.2: as saídas do tipo relé e entradas digitais do CLP e seus módulos de expansão servem para acionamento de componentes ou leitura de sinais de sensores da UH.

Entretanto, devido a limitações de corrente elétrica, o acionamento dos motores trifásicos dos sistemas de bombeamento não é feito diretamente pelos relés do CLP. A saída digital do CLP comanda um relé externo, que habilita ou inibe a alimentação do motor elétrico.

As saídas analógicas utilizadas para controlar as válvulas de regulação de vazão e pressão da UH podem variar de 0 a 10 V, porém as válvulas presentes na UH são acionadas proporcionalmente em 0-24 V, impossibilitando a ligação direta entre CLP e válvulas. Desta forma, utiliza-se um amplificador Reivax APX200 com ganho regulável localizado na parte frontal do Rack, tornando os níveis de tensão compatíveis com as especificações de cada componente do sistema.

Na Figura 13 pode-se ver a parte de trás do RAM, com as conexões elétricas e os relés para condicionamento dos sinais, bem como o amplificador Reivax APX200 utilizado para condicionamento dos sinais analógicos enviados para as válvulas.



Figura 13 – Vista da parte de trás do RAM mostrando as conexões elétricas e relés (E) e amplificador Reivax APX200 (D) no painel frontal.

2.5: Sensores e sinais da Unidade Hidráulica

A Unidade Hidráulica está equipada com sensores essenciais para o monitoramento e segurança da mesma, e que permitem a automação do sistema. Alguns desses sensores foram citados brevemente em seções anteriores do texto, porém, para facilitar o entendimento desse trabalho, serão listados a seguir todos os sensores e sinais que chegam até o CLP Siemens S7-200 e seus módulos de expansão através das entradas digitais.

2.5.1: Sensores da linha de Alimentação Regulada 1

Tipo de Sensor	Nome Sinal	Endereço	Descrição
Chave Fim de Curso	V3_Aberta	I0.0	Válvula de sucção linha 1 aberta (NA)
Chave Fim de Curso	V3_Fechada	I0.1	Válvula de sucção linha 1 fechada (NA)
Sensor ausente	M1_Ligado	I0.2	Motor linha 1 ligado
Sensor ausente	M1_Desligado	I0.3	Motor linha 1 desligado
Pressostato	S3_Desligado	I0.4	Pressão linha 1 normal
Pressostato	S3_Ligado	I0.5	Pressão linha 1 elevada
Chave Fim de Curso	V5_Aberta	I0.6	Válvula de alimentação regulada 1 A aberta
Chave Fim de Curso	V5_Fechada	I0.7	Válvula de alimentação regulada 1 A fechada
Chave Fim de Curso	V6_Aberta	I1.0	Válvula de alimentação regulada 1 B aberta
Chave Fim de Curso	V6_Fechada	I1.1	Válvula de alimentação regulada 1 B fechada
Chave Fim de Curso	V7_Aberta	I1.2	Válvula de sucção linha 2 aberta (NA)
Chave Fim de Curso	V7_Fechada	I1.3	Válvula de sucção linha 2 fechada (NA)

2.5.2: Sensores da linha de Alimentação Regulada 2

Tipo de Sensor	Nome Sinal	Endereço	Descrição
Chave Fim de Curso	V7_Aberta	I1.2	Válvula de sucção linha 2 aberta (NA)
Chave Fim de Curso	V7_Fechada	I1.3	Válvula de sucção linha 2 fechada (NA)
Sensor Ausente	M2_Ligado	I1.4	Motor linha 2 ligado
Sensor Ausente	M2_Desligado	I1.5	Motor linha 2 desligado
Pressostato	S10_Desligado	I1.6	Pressão linha 2 normal
Pressostato	S10_Ligado	I1.7	Pressão linha 2 elevada
Chave Fim de Curso	V9_Aberta	I2.0	Válvula de alimentação regulada 2 A aberta
Chave Fim de Curso	V9_Fechada	I2.1	Válvula de alimentação regulada 2 A fechada
Chave Fim de Curso	V10_Aberta	I2.2	Válvula de alimentação regulada 2 B aberta
Chave Fim de Curso	V10_Fechada	I2.3	Válvula de alimentação regulada 2 B fechada
Chave Fim de Curso	V17_Aberta	I2.4	Válvula de alimentação regulada 2 C aberta
Chave Fim de Curso	V17_Fechada	I2.5	Válvula de alimentação regulada 2 C fechada
Chave Fim de Curso	V18_Aberta	I2.6	Válvula de alimentação regulada 2 D aberta
Chave Fim de Curso	V18_Fechada	I2.7	Válvula de alimentação regulada 2 D fechada

2.5.3: Sensores da linha de Alimentação Não Regulada 3

Tipo de Sensor	Nome Sinal	Endereço	Descrição
Sensor Ausente	M4_Ligado	I3.0	Motor linha 3 ligado
Sensor Ausente	M4_Desligado	I3.1	Motor linha 3 desligado
Chave Fim de Curso	V15_Aberta	I3.2	Válvula de alimentação não regulada 3 A aberta
Chave Fim de Curso	V15_Fechada	I3.3	Válvula de alimentação não regulada 3 A fechada
Chave Fim de Curso	V16_Aberta	I3.4	Válvula de alimentação não regulada 3 B aberta
Chave Fim de Curso	V16_Fechada	I3.5	Válvula de alimentação não regulada 3 B fechada

2.5.4: Sensores das linhas de Retorno

Tipo de Sensor	Nome Sinal	Endereço	Descrição
Chave Fim de Curso	V1_Aberta	I3.6	Válvula de retorno 1 A aberta
Chave Fim de Curso	V1_Fechada	I3.7	Válvula de retorno 1 A fechada
Chave Fim de Curso	V2_Aberta	I4.0	Válvula de retorno 1 B aberta
Chave Fim de Curso	V2_Fechada	I4.1	Válvula de retorno 1 B fechada
Chave Fim de Curso	V11_Aberta	I4.2	Válvula de retorno 2 A aberta
Chave Fim de Curso	V11_Fechada	I4.3	Válvula de retorno 2 A fechada
Chave Fim de Curso	V12_Aberta	I4.4	Válvula de retorno 2 B aberta
Chave Fim de Curso	V12_Fechada	I4.5	Válvula de retorno 2 B fechada
Pressostato	S2_Desligado	I4.6	Ensuajamento do filtro 1 normal (NF)
Pressostato	S2_Ligado	I4.7	Ensuajamento do filtro 1 elevado (NA)
Pressostato	S12_Desligado	I5.0	Ensuajamento do filtro 2 normal (NF)
Pressostato	S12_Ligado	I5.1	Ensuajamento do filtro 2 elevado (NA)

2.5.5: Outros Sensores

Tipo de Sensor	Nome Sinal	Endereço	Descrição
Chave de Nível	S1_Desligado	I5.2	Nível de óleo normal (NF)
Chave de Nível	S1_Ligado	I5.3	Nível de óleo baixo (NA)
Sensor Ausente	Emergencia_Ligado	I5.4	Botão emergência acionado

Capítulo 3: Requisitos para a Automação do Sistema

Uma vez entendido de maneira plena o sistema a ser automatizado, e tendo ciência do funcionamento de sensores e atuadores, foi dado início ao projeto de automação da Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH).

Nesse capítulo serão apresentados alguns requisitos estabelecidos para o sistema automatizado, definidos conjuntamente pelo aluno, professor orientador e colegas de laboratório com experiência na operação da UH.

3.1: Requisitos Operacionais

Inicialmente definiu-se requisitos operacionais gerais de segurança e usabilidade:

- O sistema deve ser capaz de fornecer as condições necessárias de pressão e vazão para o maior número de ensaios e testes diferentes possíveis.
- O operador deve poder definir os parâmetros de saída de pressão, vazão e temperatura do fluido nas linhas que suportam esse tipo de regulação.
- O sistema deve ser seguro, evitando ao máximo que erros cometidos pelo operador ou situações adversas possam resultar em alguma situação de risco para a integridade física do operador ou danificar algum componente da UPCH.
- O sistema deve ser confiável e robusto, comportando-se sempre da mesma maneira sob mesmas condições, e com respostas condizentes ao esperado.
- A atuação nos componentes do sistema deve respeitar suas limitações e evitar situações não recomendadas pelos fabricantes, sempre que possível, de modo a preservar sua vida útil.

- O sistema deve ser intuitivo e fácil de usar, apresentando informações importantes de maneira visível facilmente pelo operador.
- A operação do sistema deve ser possível mesmo que o operador esteja com as mãos sujas de óleo ou outras substâncias comuns na área de operação.

3.2: Requisitos Funcionais

A partir dos requisitos operacionais foram definidos requisitos funcionais:

- As linhas 1 e 2 devem ter três tipos de regulação de pressão e vazão: senoidal, em rampa e em degrau com parâmetros definidos pelo operador através da IHM, desde que dentro dos limites de funcionamento do sistema.
- A temperatura desejada do fluido hidráulico deverá ser definida pelo operador através da IHM, bem como a faixa de tolerância para o acionamento dos sistemas de aquecimento/resfriamento do fluido.
- O sistema deve impedir o acionamento de motores e válvulas caso detecte que as posições das válvulas manuais do Painel de Interligação não condizem com a atuação desejada pelo operador.
- São considerados erros críticos situações que apresentam algum risco à segurança ou podem danificar componentes da UH, entre eles:
 - Alteração da posição das válvulas manuais no PI quando a linha correspondente àquela válvula está em uso;
 - Acionamento do botão de emergência no painel frontal do RAM.
- São considerados erros semicríticos situações em que o sistema esteja fora das condições ideais para a realização dos testes e ensaios na BDA:
 - A temperatura do fluido encontra-se com desvio maior que 5°C em relação ao intervalo de tolerância da temperatura desejada.

- São considerados erros toleráveis situações que não apresentem risco de segurança e que não interfiram de maneira direta nos ensaios e testes:
 - Entupimento dos filtros das linhas de retorno;
 - Nível de óleo do reservatório abaixo do ideal.
- O sistema deve suspender o acionamento de válvulas e sistemas de bombeamento das linhas 1, 2 e 3 caso detecte erros críticos ou semicríticos durante o funcionamento e impedir a sua reativação até que as causas dos erros desapareçam.
- O sistema deve desativar o controle de temperatura em caso de detecção de erros críticos durante o funcionamento.
- O operador deve ser informado através da IHM da ocorrência de um erro tolerável, semi-crítico ou crítico, até que esse erro pare de ocorrer.
- O sistema não deve ativar válvulas proporcionais ou os sistemas de bombeamento das linhas 1, 2 e 3 se a temperatura do fluido não estiver dentro da faixa de operação definida pelo operador.
- O sistema deve aguardar o tipo de ligação dos motores elétricos das linhas 1 e 2 mudar de estrela para triângulo antes de acionar as válvulas de regulação de pressão e vazão, evitando carga na partida do motor.
- A operação da IHM deve ser possível utilizando exclusivamente um teclado de computador, sem a presença de *mouse*.

Capítulo 4: Lógica de Funcionamento

Com base nos pré-requisitos estabelecidos, definiu-se uma lógica de funcionamento do sistema em modo automático. Este capítulo descreverá essa lógica funcional desenvolvida pelo aluno em conjunto com o professor orientador e explicará o comportamento desejado para o sistema em cada estado, além de apresentar a modelagem desse comportamento por meio da linguagem *Grafcet*.

Inicialmente definiu-se que o sistema teria três estados principais:

- Estado Inativo, no qual todos os atuadores da Unidade Hidráulica encontram-se desativados e não há controle de temperatura;
- Estado Ativo, no qual os atuadores encontram-se ativados se assim for desejado pelo operador e há controle de temperatura;
- Estado Suspenso, no qual atuadores encontram-se desativados, porém há controle de temperatura do fluido.

Para permitir a transição entre esses estados, três estados intermediários foram definidos:

- Estado Ativando, que executa uma rotina de verificação e ativa o controle de temperatura do fluido e motores das bombas requeridas pelo operador;
- Estado Suspendendo, que executa uma rotina para suspensão do sistema, atuando nas válvulas e desligando sistemas de bombeamento, e leva o sistema para o estado Suspenso;
- Estado Desativando, que desativa o controle de temperatura do fluido e verifica o estado das válvulas manuais do Painel de Interligação, solicitando ao operador o fechamento das mesmas caso necessário.

Definidos os estados do sistema e suas funções, modelou-se o comportamento do mesmo por meio de *Grafcet*, que pode ser visto na Figura 14. O *Grafcet* é uma linguagem definida pela norma IEC60848 utilizada para a descrição funcional do comportamento sequencial de um sistema como um todo, ou de parte dele [3].

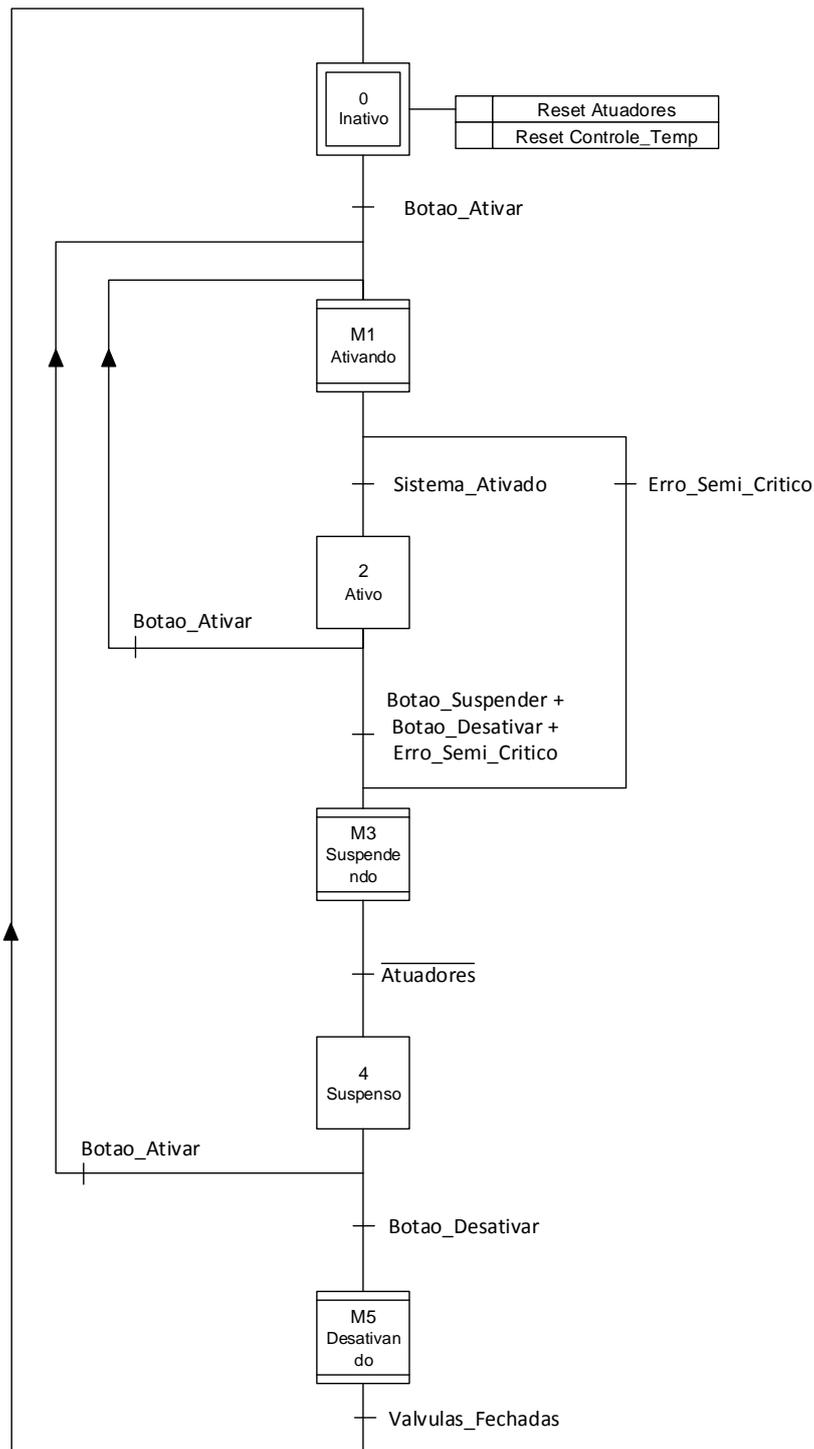


Figura 14 – Grafcet com o comportamento definido para o sistema. Para facilitar o entendimento, os estados Ativando, Suspendendo e Desativando estão representados como macro estados.

Todos esses estados, suas funções e a modelagem em Grafcet dos macroestados serão explicitadas em detalhes nas próximas seções.

4.1: Estado Inativo

No estado Inativo nenhum tipo de atuador pode estar acionado, i.e., todos os motores elétricos e bombas devem estar desligados, as válvulas devem estar sem excitação, o acumulador deve estar descarregado, etc. É o estado em que o sistema se encontrará quando o operador desativar a UPCH ao final do teste ou ensaio realizado. Esse estado possui duas ações associadas (ver Figura 15): a inibição dos atuadores e a desativação do sistema de controle de temperatura.

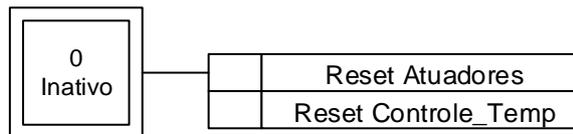


Figura 15 – Estado Inativo e suas ações.

4.2: Macroestado Ativando

A função do macroestado Ativando é garantir que o acionamento dos atuadores ocorra de maneira segura e correta.

A ativação inicia com o acionamento do sistema de controle de temperatura. Se não há erro semicrítico no sistema, i.e., a temperatura encontra-se dentro da faixa de tolerância estabelecida pelo operador na IHM, uma verificação dos estados de todas as válvulas manuais no painel de interligação é executada. Se essas válvulas estão posicionadas corretamente, então permite-se o acionamento dos sistemas de bombeamento.

Após a ativação dos motores elétricos, aguarda-se 10 s para permitir a mudança no tipo de ligação elétrica trifásica dos mesmos, e permite-se então o acionamento das válvulas proporcionais de regulação de pressão e vazão. Quando todas as linhas tiverem sido ativadas, o sistema entra no estado Ativo.

O *Grafcet* do macroestado Ativando, descrevendo seu funcionamento pode ser visto na Figura 16.

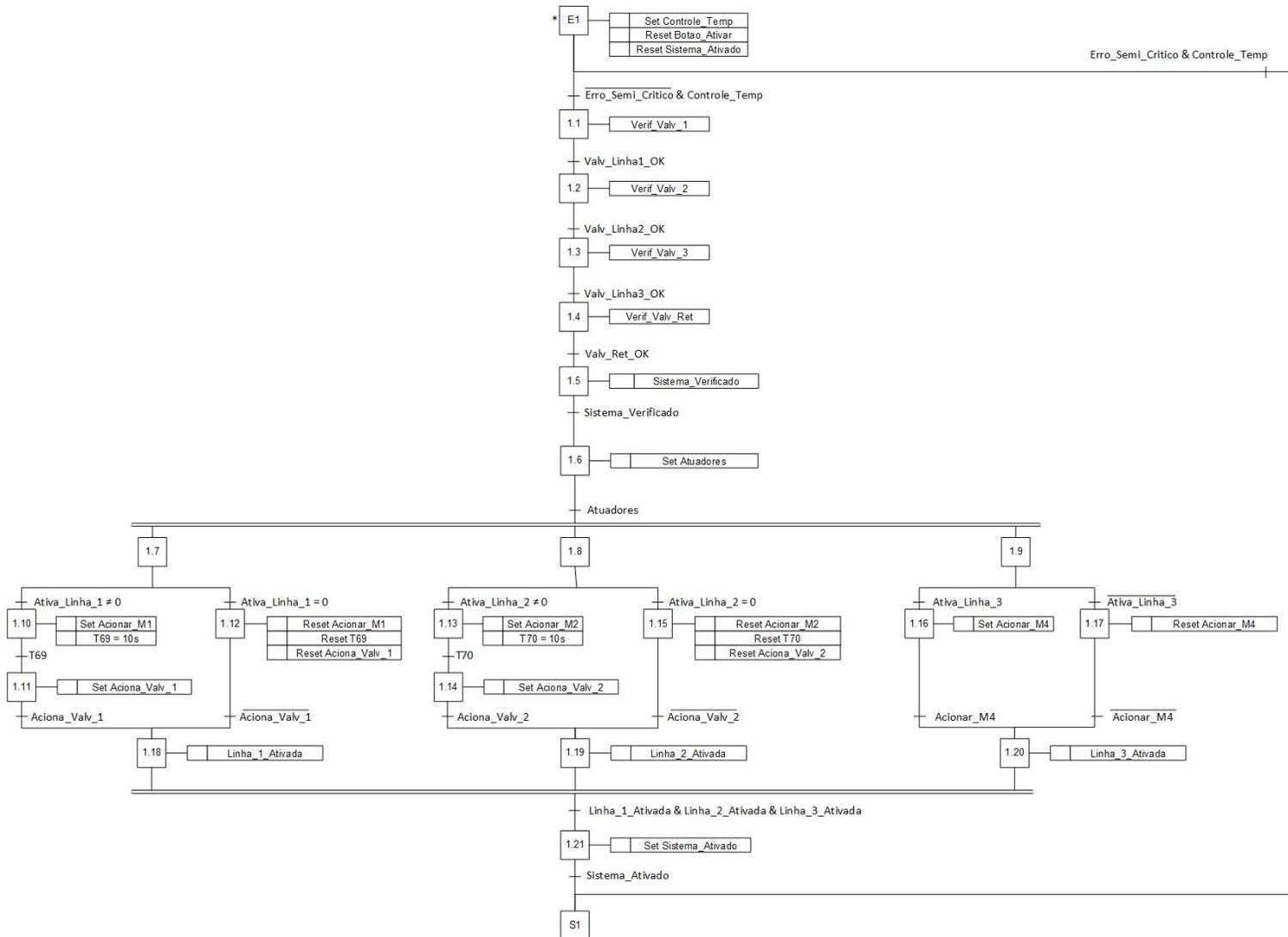


Figura 16 – Grafset descrevendo o sequenciamento de ações do macroestado Ativando.

4.3: Estado Ativo

Apesar de não possuir nenhuma ação associada, no estado Ativo os atuadores – bombas e válvulas proporcionais – estão habilitados e em funcionamento para realizar a regulação de pressão e vazão nas linhas. As válvulas proporcionais estão sendo excitadas conforme o tipo de saída definida e os motores elétricos acoplados às bombas hidráulicas estão acionados. O sistema de controle de temperatura está habilitado e regula a temperatura do fluido sempre que necessário.

4.4: Macroestado Suspendendo

O macroestado Suspendendo é responsável pela suspensão de todas as linhas que estavam em uso no estado anterior.

A suspensão inicia-se com a desativação do sistema de bombeamento da linha 3. Após, se o sistema de bombeamento da linha 2 está ativo, uma rampa decrescente é aplicada na válvula de regulação de pressão da linha 2 até que não haja mais excitação nessa válvula. Concluída a rampa de pressão, uma rampa decrescente é aplicada na válvula de regulação de vazão. Concluída essa rampa, o sistema de bombeamento da linha 2 é desativado. Após a desativação da bomba da linha 2, essa mesma sequência de suspensão ocorre para a linha 1. Ao final, quando todos os sistemas de bombeamento estiverem desativados, o sistema passa para o estado Suspenso. Essa sequência de suspensão está modelada pelo *Grafcet* apresentado na Figura 17.

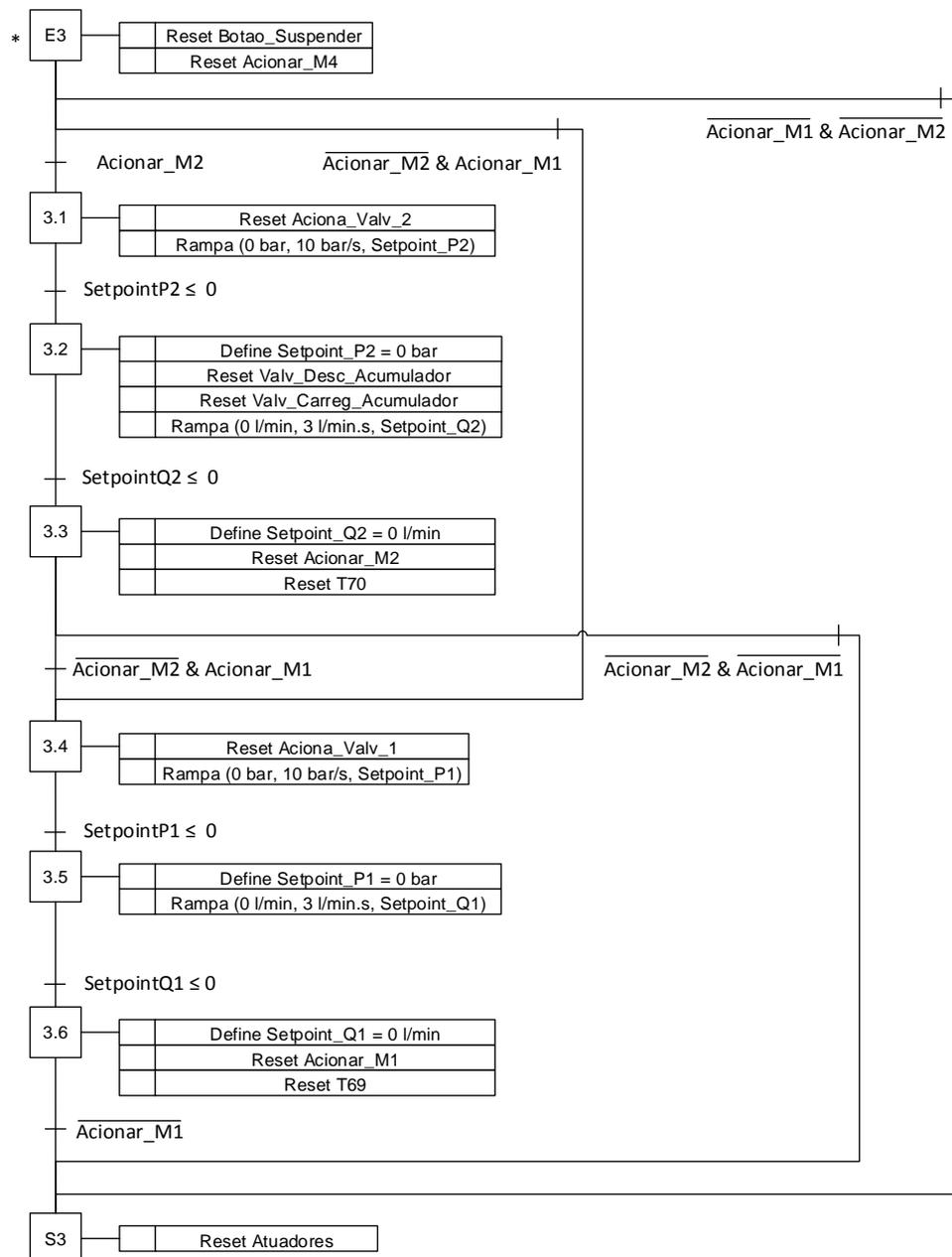


Figura 17 – Grafcet representando a seqüência de ações do estado Suspendendo.

4.5: Estado Suspenso

Quando o sistema encontra-se no estado Suspenso, os atuadores das linhas 1, 2 e 3 estão desabilitados como no estado Inativo, porém o controle de temperatura está ativo. Esse estado foi pensado para permitir que o operador faça uma breve pausa nos ensaios sem perder a temperatura ideal do fluido, parâmetro importante de ensaio e que demanda bastante gasto energético e temporal para ser atingido.

É no estado Suspenso também que o sistema aguarda a ativação quando a temperatura do fluido encontra-se fora da tolerância ao iniciar, por exemplo. O estado suspenso não possui ações associadas.

4.6: Macroestado Desativando

O macroestado Desativando tem a função de desativar o sistema de controle de temperatura e verificar se todas as válvulas manuais do Painel de Interligação estão devidamente fechadas antes do sistema entrar em Estado Inativo. Caso alguma válvula manual esteja aberta, uma mensagem é mostrada na tela da IHM para solicitar ao operador o fechamento de todas as válvulas. Essa sequência de desativação está modelada pelo *Grafcet* apresentado na Figura 18.

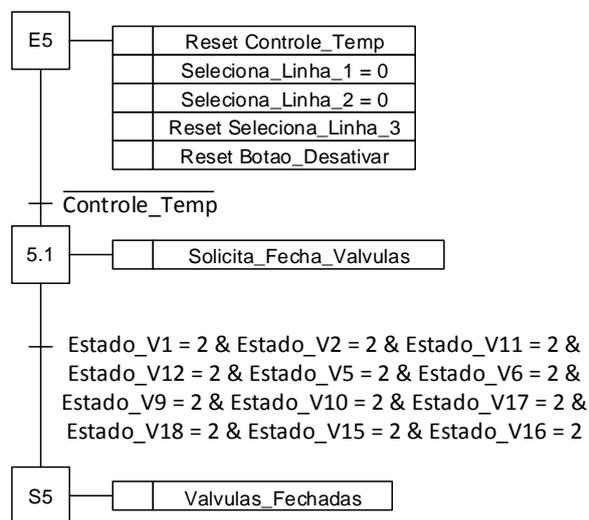


Figura 18 – Sequência de ações executada no estado Desativando, modelada em *Grafcet*.

Capítulo 5: Desenvolvimento da Interface Homem-Máquina (IHM)

Com base nos requisitos operacionais e funcionais, no entendimento pleno da Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico e na lógica de funcionamento do sistema, desenvolveu-se a Interface Homem-Máquina (IHM) para que o operador pudesse interagir com a UH e definir parâmetros para o acionamento do sistema.

Nesse capítulo serão descritos todos os desenvolvimentos feitos pelo aluno para a criação da IHM, justificando as escolhas e explicando as funcionalidades implementadas.

5.1: Plataforma para desenvolvimento

A Interface Homem-Máquina foi criada para executar em um PC presente no Rack de Acionamento e Monitoração e é apresentada ao operador por meio do monitor de 19" no painel frontal do RAM.

O programa utilizado para a criação da IHM foi o WinCC Flexible 2008 Advanced da Siemens. O WinCC Flexible é um *software* para desenvolver e programar interfaces gráficas compatíveis com painéis de operação da Siemens, sendo possível também gerar um *runtime* para executar em um PC convencional, caso utilizado aqui.

Optou-se por desenvolver a IHM no software WinCC Flexible 2008 da Siemens devido à compatibilidade do programa com o sistema operacional do PC e pela facilidade em se configurar a comunicação com o CLP Siemens S7-200. Além disso, o *software* possui uma interface amigável e é de fácil aprendizado, facilitando o desenvolvimento da IHM e mudanças por outros usuários em futuras atualizações.

A troca de informações entre CLP e *runtime* da IHM é feita por meio de variáveis chamadas *tags*. As *tags* são cópias de endereços de memória do CLP que podem ser lidas e escritas tanto pelo CLP quanto pela IHM [4]. É possível, portanto, escrever um valor para um determinado endereço de memória através da IHM que será lido pelo CLP, bem como escrever um valor através do CLP e ler na IHM. Existem também

tags internas à IHM, que não possuem uma cópia na memória do CLP, e servem para armazenar informações e parâmetros que não serão passados ao CLP, por exemplo.

O software WinCC Flexible 2008 também suporta a execução de *scripts* – um conjunto de ações executadas sequencialmente – escritos em Visual Basic. Todos os scripts criados e utilizados podem ser vistos no Apêndice A desse documento.

5.2: Tela Inicial

Ao iniciar o sistema, o operador passa a visualizar a tela inicial da IHM (Figura 19). Nessa tela há uma mensagem de boas-vindas e um botão que o operador deve pressionar para inicializar o sistema. Ao pressioná-lo, a subrotina *Rotina_Inicial* é executada pelo CLP.

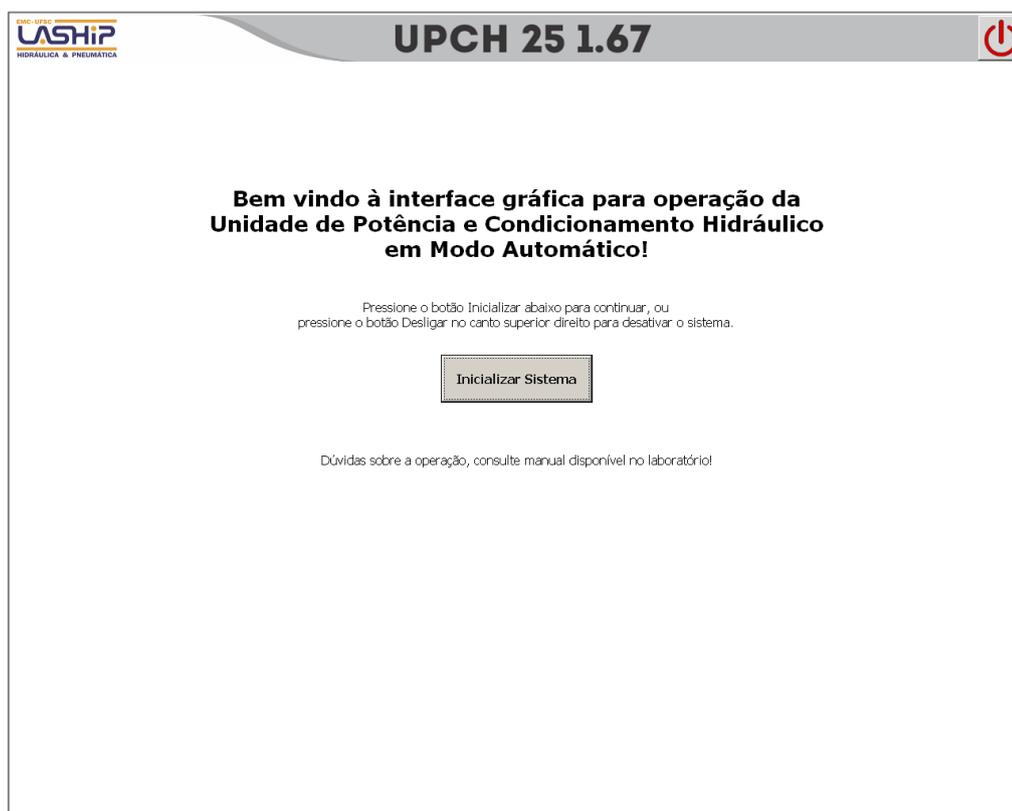


Figura 19 – Tela Inicial da IHM da UPCH.

5.3: Template

O *template* da IHM é um conjunto de elementos gráficos, botões e campos para inserção/visualização de parâmetros que é comum a todas as telas da interface. O *template* define a posição na tela das informações e ações mais importantes pro operador, que devem ficar disponíveis independentemente da tela que está aberta (excetuando-se a Tela Inicial). A Figura 20 mostra o *template* criado. Na figura, a parte destacada com borda vermelha é a região destinada às informações específicas de cada tela.

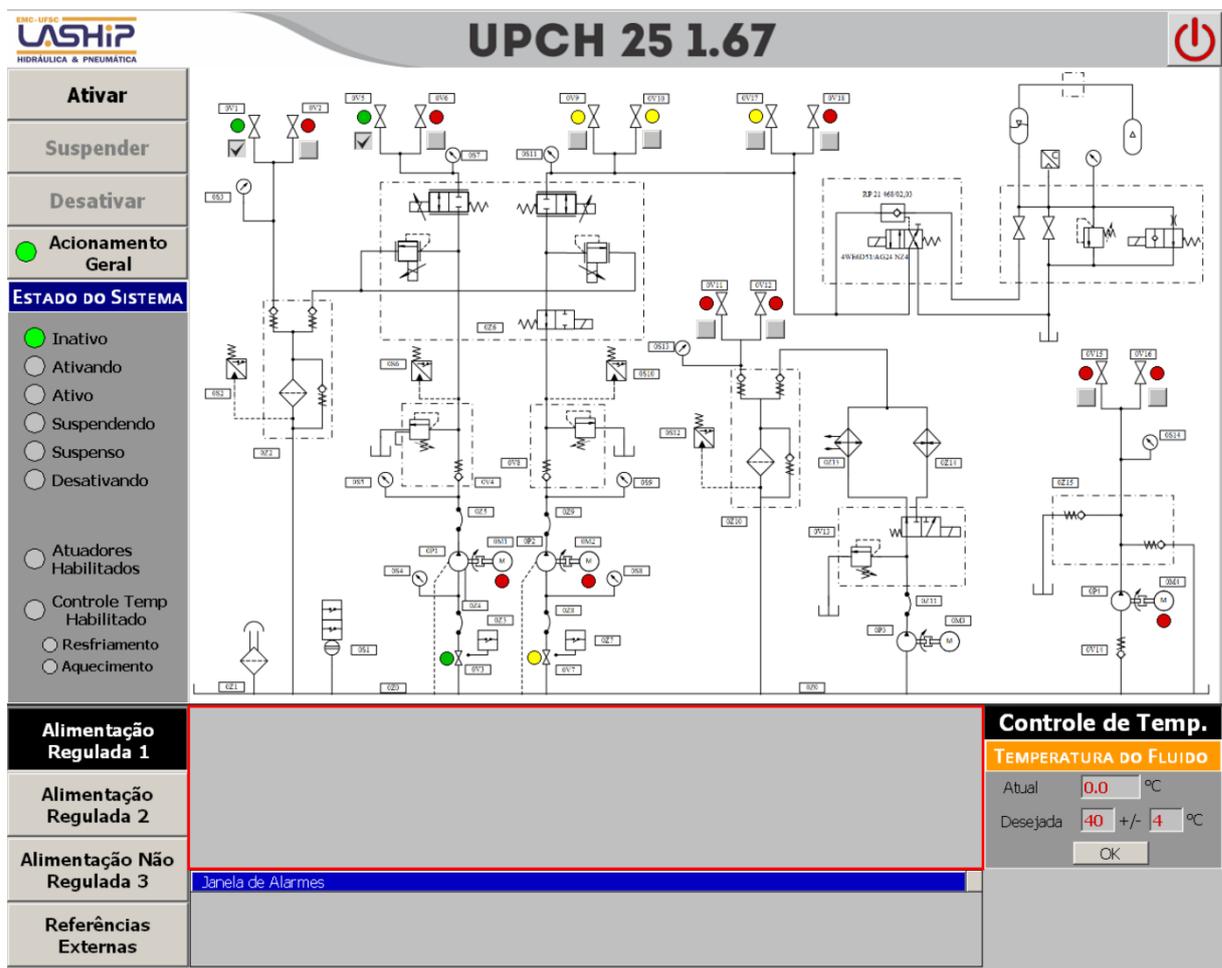


Figura 20 – Template criado para a IHM da UPCH.

5.3.1: Diagrama de Circuito Hidráulico

O *template* criado para a IHM da Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico possui como elemento destaque o circuito hidráulico completo da UH com

as válvulas manuais do Painel de Interligação. Dessa forma o operador pode sempre visualizar as conexões, bombas e válvulas de cada linha da UH.

5.3.2: Indicadores de estado dos componentes da UH

Próximo à cada componente da UH representado no diagrama estão indicadores que mudam de cor para informar ao operador o estado desses componentes.

Para os motores elétricos, indicador na cor verde significa motor acionado, enquanto a cor vermelha significa motor desligado (ver Figura 21).

Já para as válvulas manuais do PI, a combinação do sinal dos dois sensores de fim de curso para detecção do estado da válvula pode gerar quatro estados: cor vermelha significa válvula fechada (sensor de fim de curso da válvula completamente fechada ativado), cor verde significa válvula aberta (sensor de fim de curso da válvula completamente aberta ativado), cor amarela significa que nenhum dos dois sensores de fim de curso está acionado, indicando que, ou a válvula está parcialmente aberta, ou há um problema em algum dos sensores. Quando ambos os sensores estão acionados o indicador fica preto, pois é uma situação impossível em condições normais e há problema com os sensores.

O estado de cada sensor é passado pelo CLP para a IHM através de *tags* próprias.

5.3.3: Botões para Estado Desejado das válvulas do PI

Próximo aos símbolos que representam as válvulas manuais do PI no diagrama foram colocadas caixas de seleção para que o operador informe ao sistema quais válvulas irá utilizar para realizar seus testes e ensaios (ver Figura 21). Essa informação é passada pela IHM para o CLP periodicamente.

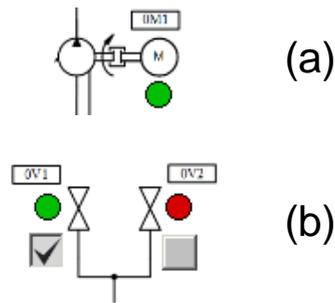


Figura 21 – Indicador do estado do motor elétrico no diagrama hidráulico (a) e Indicadores dos estados e caixas de seleção para definir o estado desejado das válvulas manuais no Painel de Interligação (b).

5.3.4: Botões Ativar, Suspende e Desativar

Ainda no *template* da IHM, à esquerda do diagrama hidráulico, colocou-se três botões: Ativar, Suspende e Desativar. É através desses botões que o operador irá acionar, suspender ou desativar o sistema de acordo com os parâmetros definidos. Na Figura 22 observa-se que os botões Suspende e Desativar estão inibidos pois o sistema encontra-se no estado Inativo.

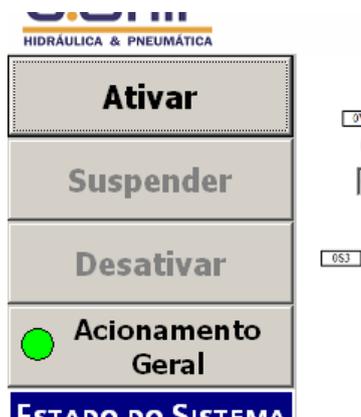


Figura 22 – Detalhe dos botões Ativar, Suspende e Desativar.

Ao pressionar o botão Ativar, duas ações são tomadas pela IHM: *tag Botao_Ativar* é ativada para informar ao CLP que o botão foi pressionado, e *script Passa_Parametros_CLP* é executado, gravando na memória do CLP os parâmetros definidos nas telas da IHM. Dessa forma garante-se que mudanças feitas pelo operador na IHM só tenham efeito na UH quando o botão Ativar é pressionado.

Ao pressionar o botão Suspende a *tag Botao_Suspende* é ativada para comunicar ao CLP que o botão foi pressionado. Esse botão é inibido quando o sistema já se encontra no estado Suspenso ou Inativo

O botão Desativar, ao ser pressionado, ativa a *tag Botao_Desativar* para informar ao CLP que foi pressionado. Ele é inibido quando o sistema se encontra no estado Inativo.

O botão Acionamento Geral serve para que o operador possa habilitar ou inibir a alimentação elétrica da UH, caso seja necessário.

5.3.5: Indicadores de Estado do Sistema

Abaixo dos botões Ativar, Suspende e Desativar encontra-se um quadro com indicadores do estado atual em que o sistema se encontra (ver Figura 23). Há ainda indicadores para o sistema de controle de temperatura e para o estado dos atuadores do sistema (sistemas de bombeamento e válvulas). Essas informações são passadas pelo CLP através de *tags* e ajudam o operador a entender todos os estados que o sistema pode assumir de maneira simples.

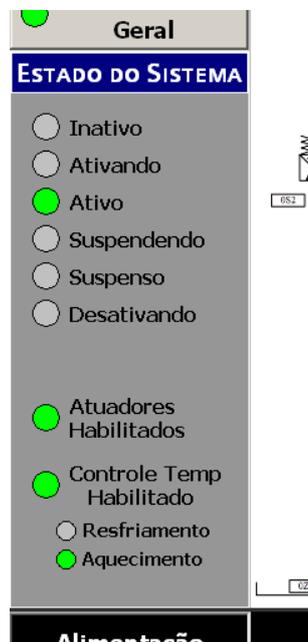


Figura 23 – Quadro com indicadores do estado atual do sistema.

5.3.6: Botões Alimentação Regulada 1, Alimentação Regulada 2, Alimentação Não-Regulada 3 e Referências Externas

Localizados abaixo do quadro com indicadores de estado do sistema (ver Figura 24), esses botões abrem as telas para definir os parâmetros de ativação das linhas 1, 2 e 3 e para selecionar o uso de referências externas de vazão e pressão ao invés das geradas pelo CLP.

Quando pressionados, a tela daquele respectivo botão é mostrada, uma *tag* interna associada àquele botão é ativada e as *tags* associadas aos outros dois botões são desativadas. Ao ser pressionado novamente, a *tag* interna associada é desativada e há o retorno para a tela inicial da IHM. A função da *tag* interna é permitir uma mudança na aparência do botão, gerando um retorno visual ao operador da sua ação.



Figura 24 – Botões para abrir as telas de configuração de parâmetros das saídas das linhas 1, 2 e 3 e botão para ativar tela de seleção de referências externas. Aparência distinta do botão Alimentação Regulada 1 indica que essa tela está aberta no momento.

5.3.7: Janela de Alarmes

Na parte inferior central do *template* encontra-se uma janela para a visualização de alarmes ativados pelo CLP (ver Figura 25). Aqui são mostradas mensagens de aviso que informam ao operador se há alguma válvula manual em posição diferente da desejada, ou se a temperatura do fluido encontra-se fora do ponto de operação desejado, por exemplo. Uma lista completa com os alarmes mostrados nessa tela pode ser vista no Apêndice B.

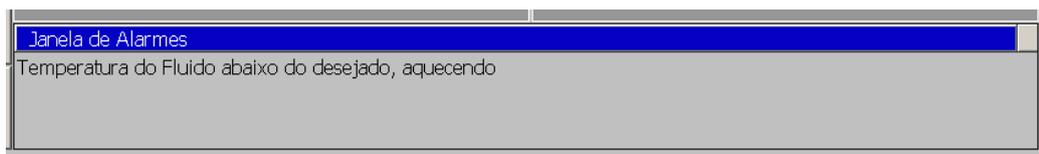


Figura 25 – Janela de Alarmes para informar ao operador situações atípicas.

5.3.8: Janela para configurar o Controle de Temperatura

No canto inferior direito encontra-se uma janela para a definição dos parâmetros utilizados para o controle de temperatura do fluido (ver Figura 26). Nessa janela o operador pode visualizar a temperatura atual, com resolução de uma casa decimal, enviada pelo CLP periodicamente. Também é possível definir a temperatura desejada e a tolerância, que são armazenados em *tags* internas. Ao pressionar o botão OK na parte inferior dessa janela, o *script* *Calcula_Valor_Temperatura* é executado, onde calcula-se o valor mínimo e máximo de temperatura de acordo com a temperatura desejada e tolerância definida pelo operador e são passados esses valores para *tags* compartilhadas com o CLP. Uma alteração na temperatura desejada só é percebida pelo CLP, portanto, quando o botão OK é pressionado.

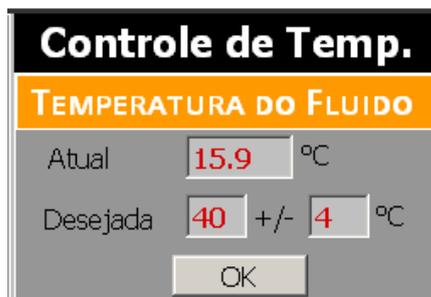


Figura 26 – Janela para configuração dos parâmetros do controle de temperatura.

5.3.9: Janela Erro Tolerável

Quando um Erro Tolerável ocorre (*tag* *Ativa_Janela_Erro_T* é ativada), uma janela (ver Figura 27) é mostrada abaixo da janela do controle de temperatura. Um campo textual avisa ao operador o problema ocorrido. A janela alterna de cor periodicamente, chamando a atenção do operador.

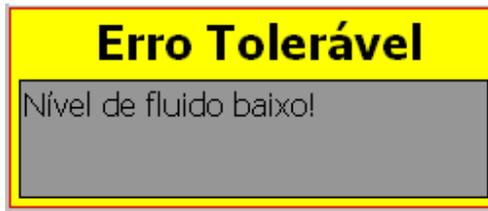


Figura 27 - Janela Erro Tolerável.

5.4: Tela Alimentação Regulada 1

Ao pressionar o botão Alimentação Regulada 1 do *template*, a tela para a configuração dos parâmetros de regulação de pressão e vazão da linha 1 (ver Figura 28) se abrirá. Essa tela foi produzida para que, de forma intuitiva, o operador escolha o tipo de saída (degrau, rampa ou senoidal) de vazão e pressão desejado para a linha 1 da UH.

The interface is titled "UPCH 25 1.67" and includes a power button icon in the top right. The left sidebar contains the following controls:

- Ativar** (Active)
- Suspender** (Suspend)
- Desativar** (Deactivate)
- Acionamento Geral** (General Activation) - Green circle indicator
- ESTADO DO SISTEMA** (System Status):
 - Inativo
 - Ativando
 - Ativo
 - Suspendendo
 - Suspenso
 - Desativando
 - Atuadores Habilitados
 - Controle Temp Habilitado
 - Resfriamento
 - Aquecimento

The bottom control panel is divided into three main sections:

- Alimentação Regulada 1** (Regulated Supply 1):
 - S.A. PRESSÃO** (Pressure): Senoidal, Rampa, Degrau
 - S.A. VAZÃO** (Flow): Senoidal, Rampa, Degrau
- Controle de Temp.** (Temperature Control):
 - TEMPERATURA DO FLUIDO** (Fluid Temperature):
 - Atual: 0.0 °C
 - Desejada: 40 +/- 4 °C
 - OK button

Below the main controls, there is a "Janela de Alarmes" (Alarm Window) button and a "Referências Externas" (External References) section.

Figura 28 – Tela Alimentação Regulada 1.

Colocou-se abaixo do diagrama hidráulico uma janela dividida em dois menus: menu para seleção da saída em pressão da linha 1 no lado esquerdo e menu para seleção da saída em vazão do lado direito (ver Figura 29).



Figura 29 – Detalhe dos dois menus para seleção de saída em pressão (E) e vazão (D) da linha 1 da UH.

Dentro de cada um desses menus há três botões para selecionar o tipo de saída desejado: degrau, rampa ou senoidal. Quando um tipo de saída está selecionado, um indicador dentro do botão é ativado, ficando na cor laranja. A seleção do tipo de saída em pressão não depende do tipo de saída em vazão, e vice-versa, ou seja, é possível selecionar uma rampa de pressão e uma senoide de vazão, se assim desejado pelo operador.

Um botão no canto superior direito de cada menu, quando clicado, desabilita qualquer tipo de saída selecionado.

Ao clicar nos botões um submenu se abrirá, específico para cada tipo de saída, para definir os parâmetros através de campos de texto que serão inseridos pelo operador por meio do teclado. É necessário digitar o valor do parâmetro desejado e confirmá-lo pressionando a tecla *Enter*. Esses parâmetros são armazenados em *tags* internas à IHM, sendo passados para o CLP através do *script Passa_Parametros_CLP*, executado quando o botão Ativar é pressionado.

Cada submenu possui dois botões na parte inferior: botão OK e botão Cancelar. O botão OK serve para confirmar a seleção daquele tipo de saída, ativando uma *tag*. O botão Cancelar somente fecha o sub-menu daquele tipo de saída. Todos os sub-menus podem ser vistos nas próximas seções.

5.4.1: Submenu Degrau

Para saída em degrau define-se somente um parâmetro no submenu: valor máximo final do degrau em bar [bar] para pressão (Figura 30) ou litros por minuto [L/min] para vazão.



Figura 30 – Submenu para configuração da saída do tipo degrau de pressão, nesse caso. O submenu Degrau para vazão é semelhante.

5.4.2: Submenu Rampa

Para saída em rampa dois parâmetros são necessários: inclinação em bar por segundo [bar/s] para pressão e litros por minuto por segundo [l/min.s] para vazão, e valor máximo final da rampa em bar para pressão e l/min para vazão (Figura 31).



Figura 31 – Submenu para saída em rampa de pressão. Submenu para rampa de vazão é semelhante.

5.4.3: Submenu Senoidal

Para saída senoidal é necessário definir três parâmetros no submenu: frequência em Hertz [Hz], amplitude em bar para pressão e l/min para vazão, e o *offset* em bar para pressão e l/min para vazão (Figura 32).

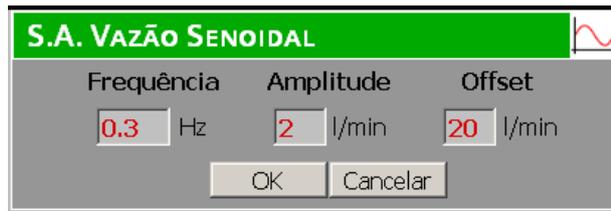


Figura 32 – Submenu para saída senoidal de vazão. Submenu para saída senoidal de pressão é semelhante.

5.5: Tela Alimentação Regulada 2

Ao pressionar o botão Alimentação Regulada 2 do *template*, a tela Alimentação Regulada 2 é mostrada para o operador (ver Figura 33). Semelhante à tela Alimentação Regulada 1, tem como função permitir a definição dos parâmetros das saídas reguladas em pressão e vazão da linha 2 pelo operador.

Alimentação Regulada 2		Controle de Temp.
S.A. PRESSÃO	S.A. VAZÃO	ACUMULADOR
<input type="checkbox"/> Senoidal <input type="checkbox"/> Rampa <input checked="" type="checkbox"/> Degrau	<input type="checkbox"/> Senoidal <input checked="" type="checkbox"/> Rampa <input type="checkbox"/> Degrau	<input type="checkbox"/> Ativar
Janela de Alarmes Não é possível ativar a linha 2, todas as válvulas da linha 2 estão fechadas Válvula 2C (V17) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema. Válvula 2B (V10) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema. Válvula 2A (V9) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.		TEMPERATURA DO FLUIDO Atual: 0.0 °C Desejada: 40 +/- 4 °C <input type="button" value="OK"/>

Figura 33 - Tela Alimentação Regulada 2.

Os mesmos menus para escolha do tipo de saída em pressão e vazão implementados na tela Alimentação Regulada 1 estão presentes aqui, bem como seus submenus. A diferença está na adição de um terceiro menu, para definir a utilização do acumulador na linha 2 (ver Figura 34).



Figura 34 – Detalhe dos três menus para definição dos parâmetros de uso da linha 2: menu para regulação de pressão (E), menu para regulação de vazão (C) e menu para utilização do Acumulador (D).

5.5.1: Menu Acumulador

O menu do Acumulador, localizado à direita dos menus de Pressão e Vazão da linha 2, possui um único botão que, ao ser pressionado, ativa a *tag* interna que sinaliza a vontade do operador de utilizar o acumulador da linha 2. Essa *tag* interna só é passada ao CLP ao ser pressionado o botão Ativar, através do *script* *Passa_Parametros_CLP*.

Um indicador avisa ao operador que o uso do acumulador foi selecionado, ficando na cor laranja. Ao pressionar o botão novamente, a seleção do uso do acumulador é desfeita, e o indicador volta a ficar na cor cinza.

5.6: Tela Alimentação Não-Regulada 3

Sua função é permitir ao operador ativar e desativar a linha 3 da UH. Como essa linha não possui regulação de vazão nem pressão, a única ação possível é o acionamento do sistema de bombeamento.

O operador seleciona essa ação por meio de um botão na tela (ver Figura 35), que ativará uma *tag* interna. Essa *tag* será passada ao CLP quando o *script* *Passa_Parametros_CLP* for executado, que acionará então o sistema de bombeamento da linha 3. Ao pressionar o botão novamente, o operador sinaliza que

não deseja mais manter o sistema de bombeamento da linha 3 ativo, e a tag é desativada. Um indicador informa ao operador se o sistema de bombeamento está selecionado para ativação ou não.

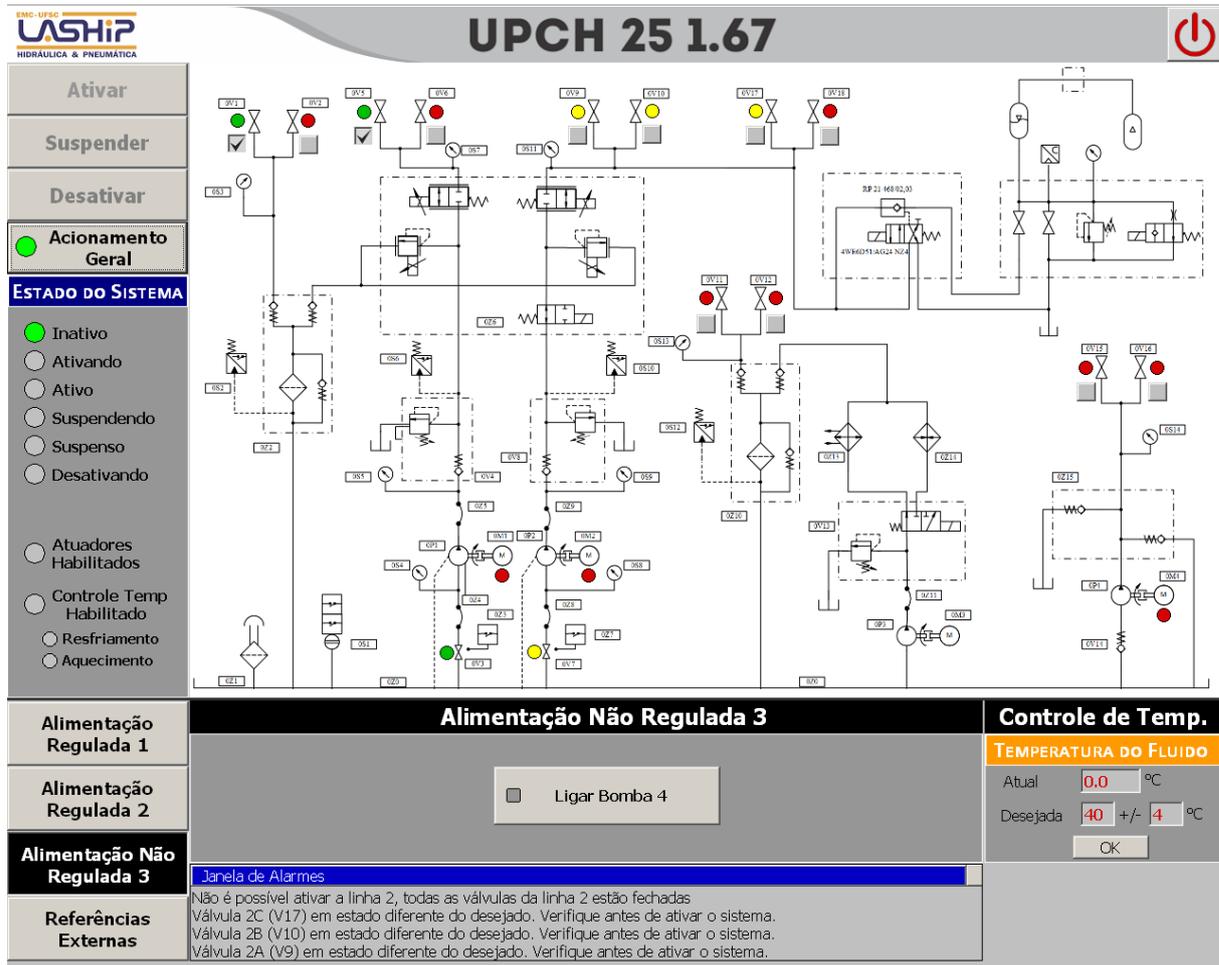


Figura 35 – Tela Alimentação Não-Regulada 3.

5.7: Tela Erro Semicrítico

A tela Erro Semicrítico foi desenvolvida pensando em chamar a atenção do operador quando há um erro semicrítico no sistema durante o estado Ativo. Como dito em 3.2., o erro semicrítico ocorre quando a temperatura do fluido atinge um desvio maior que 5°C em relação ao intervalo de tolerância da temperatura desejada.

A Tela Erro Semicrítico consiste de uma janela de aviso com um campo para mensagens que informam ao operador o motivo do erro e um botão na parte inferior para que o operador informe ao sistema que está ciente do erro (Figura 36).

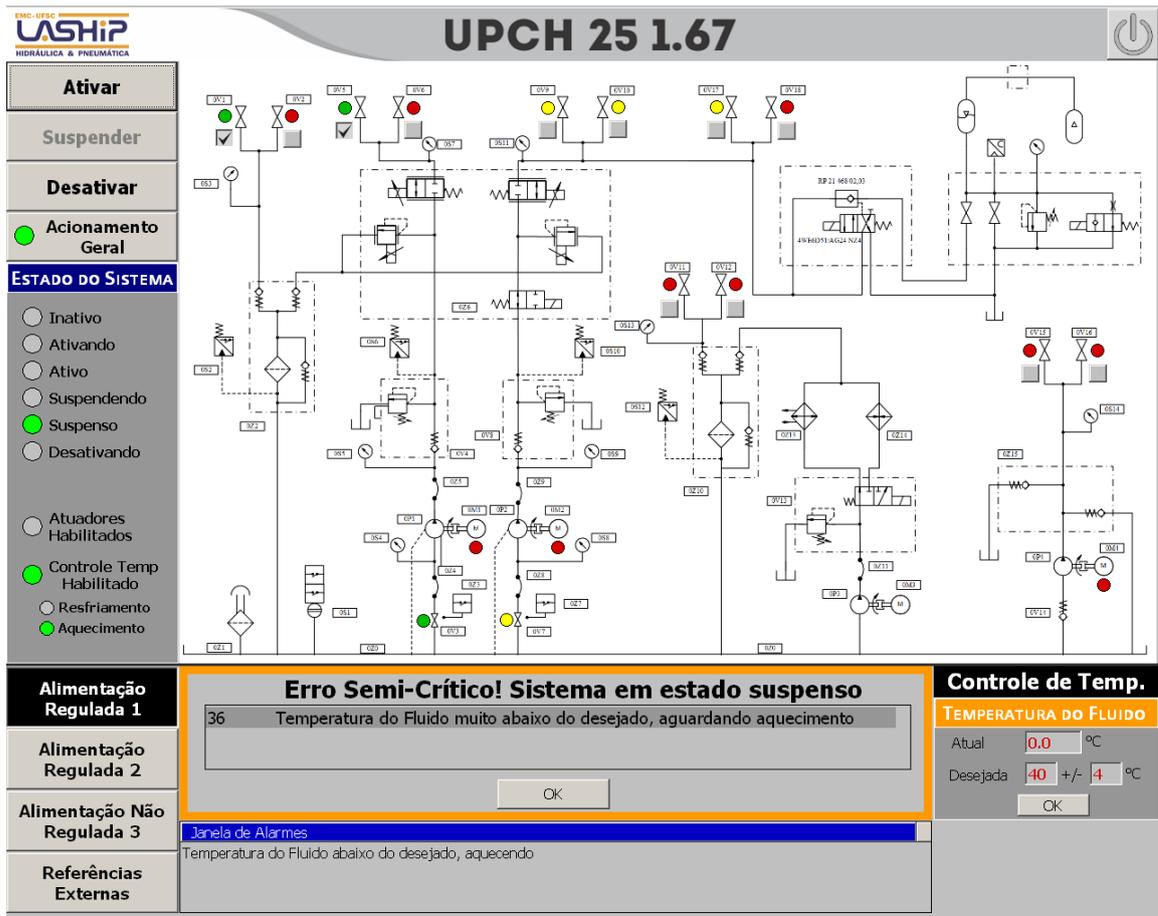


Figura 36 – Tela Erro Semicrítico.

As mensagens são mostradas de acordo com o alarme ativado pelo CLP, podendo variar entre as mensagens da Tabela 1. Ao ser pressionado, o botão OK retorna a IHM para a tela que estava ativada antes da ocorrência do erro.

Mensagens de Erro Semicrítico

Temperatura do Fluido muito abaixo do desejado, aguardando aquecimento

Temperatura do Fluido muito acima do desejado, aguardando resfriamento

Tabela 1 – Mensagens de Erro Semicrítico que podem ser mostradas na tela para o operador.

Uma borda grossa de cor alaranjada serve para dar destaque à janela de erro semicrítico.

5.8: Tela Erro Crítico

A tela Erro Crítico é semelhante à tela Erro Semicrítico. Ela é ativada quando a tag *Erro_Critico* é ativada pelo CLP, mostrando ao operador uma janela de aviso com um campo para informar o erro ocorrido (Figura 37).

The screenshot displays the control interface for 'UPCH 25 1.67'. At the top left, there is a logo for 'LASHIP' (EMC-UFSC) and a power button icon. Below the logo are buttons for 'Ativar', 'Suspender', and 'Desativar'. A 'Acionamento Geral' section contains a green indicator light. The 'ESTADO DO SISTEMA' section lists various system states with corresponding indicator lights: Inativo (green), Ativando (grey), Ativo (white), Suspendendo (grey), Suspenso (white), Desativando (grey), Atuadores Habilitados (white), Controle Temp Habilitado (white), Resfriamento (white), and Aquecimento (white). The main area shows a detailed hydraulic schematic with various valves, pumps, and sensors. A red-bordered error message box is overlaid on the schematic, containing the text: 'Erro Crítico! Sistema em modo inativo' and '17 Válvula 1A (V5) alterada durante funcionamento com atuação na linha 1'. Below the message is an 'OK' button. To the right of the error box is a 'Controle de Temp.' section with 'TEMPERATURA DO FLUIDO' and 'Atual' (0.0 °C) and 'Desejada' (0 +/- 4 °C) fields, also with an 'OK' button. On the left side of the interface, there are sections for 'Alimentação Regulada 1', 'Alimentação Regulada 2', 'Alimentação Não Regulada 3', and 'Referências Externas'. At the bottom of the error box, there is a 'Janela de Alarmes' section with a warning message: 'Não é possível ativar a linha 1, todas as válvulas da linha 1 estão fechadas. Válvula 1A (V5) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.'

Figura 37 – Tela Erro Crítico.

As mensagens mostradas podem variar conforme a Tabela 2. O botão OK localizado na parte inferior da janela, ao ser pressionado, ativa a tela que estava ativada antes do erro crítico ocorrer. Esse botão só é habilitado quando não há mais erros críticos no sistema.

Mensagens de Erro Crítico

- Válvula 1A (V5) alterada durante funcionamento com atuação na linha 1
- Válvula 1B (V6) alterada durante funcionamento com atuação na linha 1
- Válvula 2A (V9) alterada durante funcionamento com atuação na linha 2
- Válvula 2B (V10) alterada durante funcionamento com atuação na linha 2
- Válvula 2C (V17) alterada durante funcionamento com atuação na linha 2
- Válvula 2D (V18) alterada durante funcionamento com atuação na linha 2

Válvula 3A (V15) alterada durante funcionamento com atuação na linha 3
Válvula 3B (V16) alterada durante funcionamento com atuação na linha 3
Válvula de retorno 1A (V1) alterada durante funcionamento do sistema
Válvula de retorno 1B (V2) alterada durante funcionamento do sistema
Válvula de retorno 2A (V11) alterada durante funcionamento do sistema
Válvula de retorno 2B (V12) alterada durante funcionamento do sistema
Botão de Emergência acionado!

Sem erros críticos! Pressione OK para continuar

Tabela 2 – Mensagens de Erro Crítico que podem ser mostradas na tela para o operador.

Uma borda na cor vermelha ao redor da janela foi colocada para chamar a atenção do operador.

Capítulo 6: Implementação no CLP

Com base nos requisitos funcionais, foi iniciada a implementação da lógica de funcionamento do sistema no CLP Siemens S7-200 CPU226. Esse capítulo explicitará o processo de implementação dessa lógica no CLP, bem como a implementação das verificações de segurança, detecção de erros críticos e semicríticos, leitura e controle de temperatura do fluido, entre outras funcionalidades.

6.1: Plataforma de desenvolvimento

Para a programação de todas essas lógicas no CLP utilizou-se o *software* Step7-MicroWIN, proprietário da Siemens e exclusivo para a programação dos CLPs da família S7-200. Com esse *software* é possível programar a lógica de funcionamento em três diferentes linguagens: *Structured List* (STL), *Function Block Diagram* (FBD) e *Ladder* (LD) [2].

Para essa implementação escolheu-se utilizar a linguagem *Ladder* devido à sua rápida curva de aprendizado e facilidade de entendimento por outras pessoas para eventuais alterações de código no futuro. As próximas seções discorrerão a respeito das implementações de maneira resumida.

6.2: Lógica de Estados Principal

Para a implementação da lógica de estados do programa principal da automação do sistema utilizou-se a implementação do método passo-a-passo [5] em *Ladder* visando facilitar a programação, a detecção de erros de programação durante o desenvolvimento e o entendimento por terceiros no futuro. O padrão adotado pode ser visualizado na Figura 38.

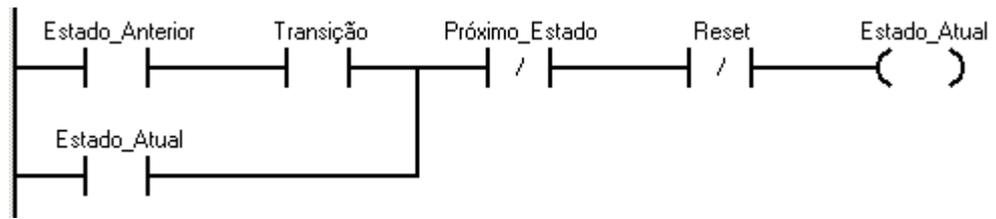


Figura 38 – Padrão de programação da lógica de estados adotado para implementação em Ladder.

Dois exemplos dessa forma de implementação programados para o sistema podem ser vistos na Figura 39 e na Figura 40. Todos os outros estados seguem implementação semelhante.

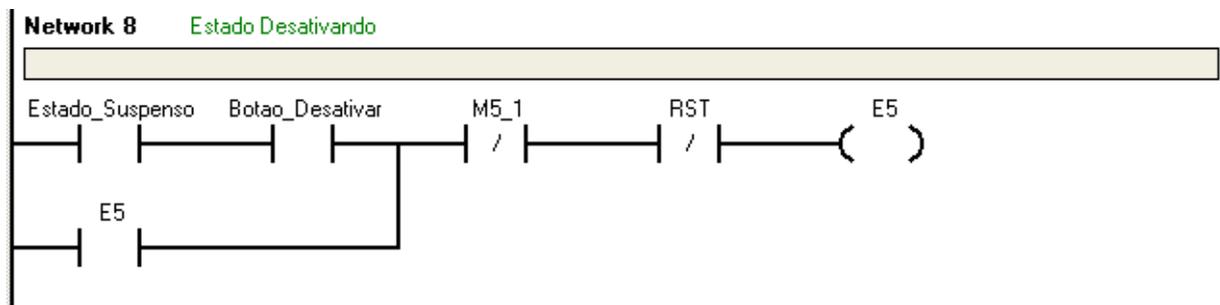


Figura 39 – Implementação do método passo-a-passo do primeiro estado do macro estado Desativando.

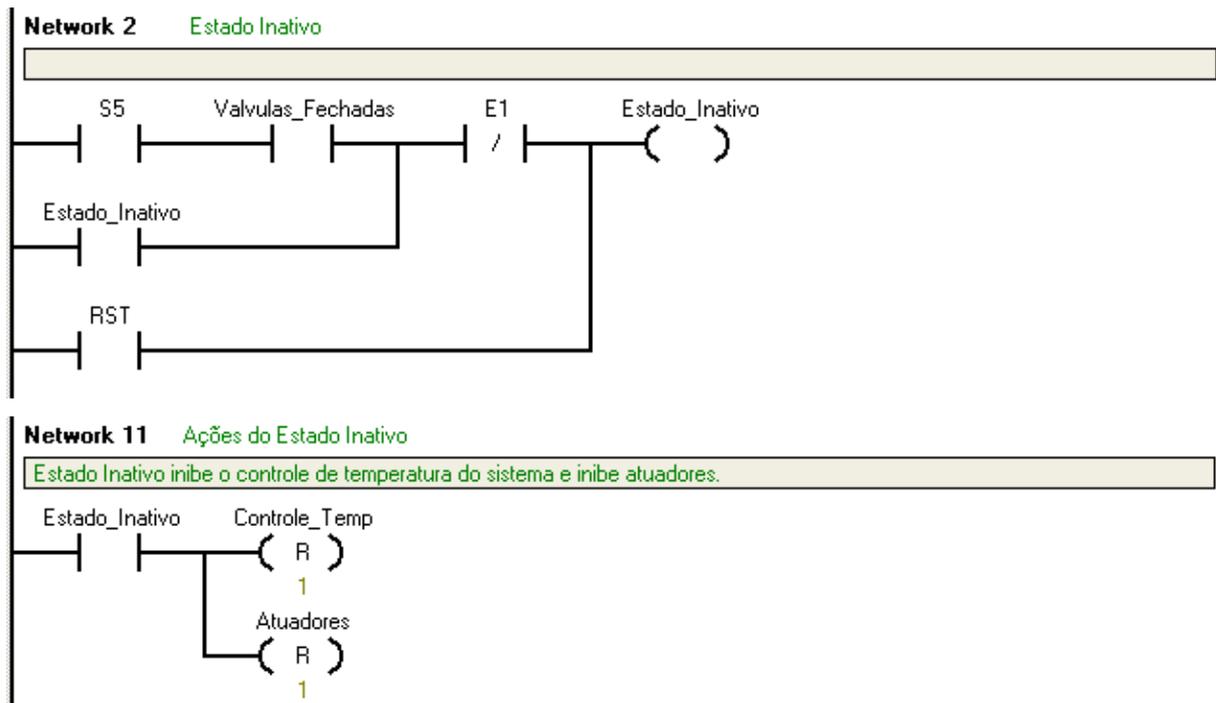


Figura 40 – Implementação do método passo-a-passo do estado Inativo e suas ações. O estado Inativo é o estado inicial do sistema, sendo ativado pelo reset (RST).

6.3: Leitura da temperatura do fluido

O sinal da medição de temperatura do fluido é retransmitido em corrente (0-20 mA correspondendo à 0-100 °C) pelo controlador de temperatura Novus N1200 para uma entrada analógica do módulo EM232 acoplado ao CLP. Essa entrada analógica possui um registrador associado (Registrador AIW0), que grava o nível de corrente proporcionalmente em uma variável do tipo inteiro, variando o valor de 0 para 0mA até 32000 para 20 mA.

Para que o valor da temperatura do fluido pudesse ser mostrado na tela da IHM em graus Celsius e com uma casa decimal de resolução, foram necessárias algumas conversões. A primeira conversão efetuada no bloco de função de leitura da temperatura é a transformação do valor inteiro em *double*, e posteriormente de *double* para *real* (ponto flutuante). Com o valor já em ponto flutuante, realiza-se a conversão para graus Celsius. O fator de conversão utilizado foi $(100\text{ °C}/32000) = 0,003125$. Essa leitura e conversão é efetuada a cada 2,5 s. A sub-rotina criada para a leitura e

conversão da temperatura do fluido pode ser vista implementada em *Ladder* na Figura 41.

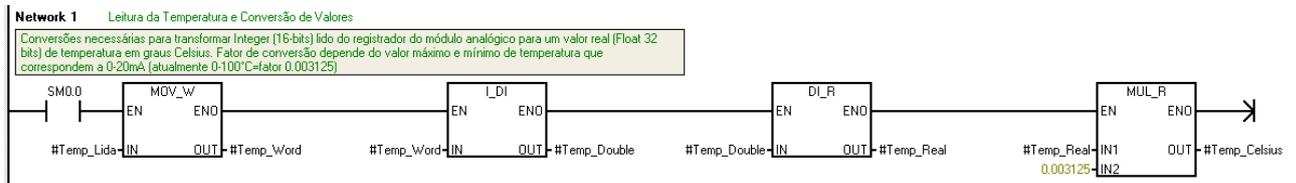


Figura 41 – Sub-rotina *Leitura_Temperatura* usada para a conversão da temperatura lida do fluido em graus Celsius.

6.4: Controle de Temperatura do Fluido

O controle de temperatura implementado é bastante simples, do tipo liga/desliga. Devido ao baixo calor específico do fluido, e conseqüentemente sua dinâmica lenta na variação da temperatura, estratégias mais complexas de controle foram descartadas.

O controle da temperatura depende da variável controlada (temperatura atual) e de três parâmetros: temperatura desejada e valores máximo e mínimo de temperatura do fluido requeridos pelo operador por meio da tolerância definida na IHM.

O aquecimento do fluido é ativado quando a temperatura atual encontra-se abaixo da temperatura mínima requerida, e é desativado quando a temperatura cruza o valor desejado pelo operador. O resfriamento é ativado quando a temperatura atual encontra-se acima da temperatura máxima requerida, e é desativado quando a temperatura cruza o valor desejado pelo operador. Adotou-se essa estratégia para evitar alta intermitência do sistema de aquecimento e resfriamento em torno da temperatura desejada, dando um efeito de histerese ao sistema.

Esse controle é atualizado a cada 2,5 segundos. A implementação em *Ladder* desse controle está mostrada na Figura 42.

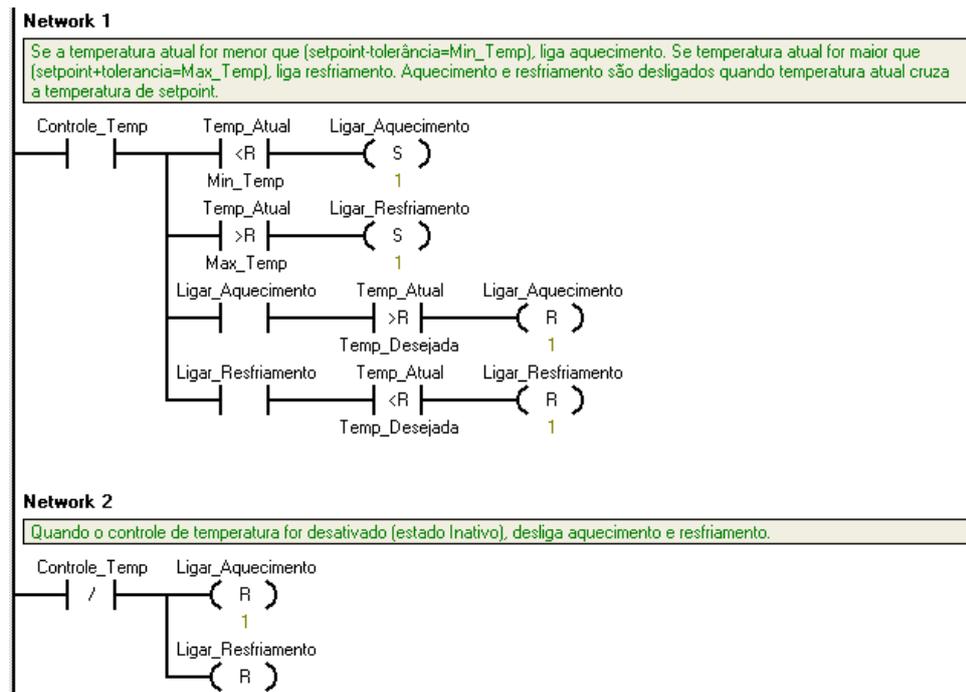


Figura 42 – Implementação do controle de temperatura da UPCH em Ladder.

6.5: Verificação das Válvulas Manuais

Por questões de segurança uma verificação da posição das válvulas manuais do Painel de Interligação é efetuada constantemente. A verificação consiste em checar se as válvulas estão na posição desejada pelo operador, e se pelo menos uma válvula da linha checada está aberta. Caso haja algum tipo de saída selecionado pelo operador na IHM para aquela linha, um alarme diferente é ativado para cada caso (válvula A posicionada incorretamente, válvula B posicionada incorretamente, todas as válvulas fechadas, etc.), que ativa uma mensagem na IHM para informar o operador sobre o erro. Caso não haja nenhum alarme ativo, então uma *tag* é ativada informando que as válvulas daquela linha estão corretamente posicionadas.

A implementação em *Ladder* dessa verificação para a linha 1 pode ser vista na Figura 43. A implementação para as linhas 2 e 3 é semelhante.

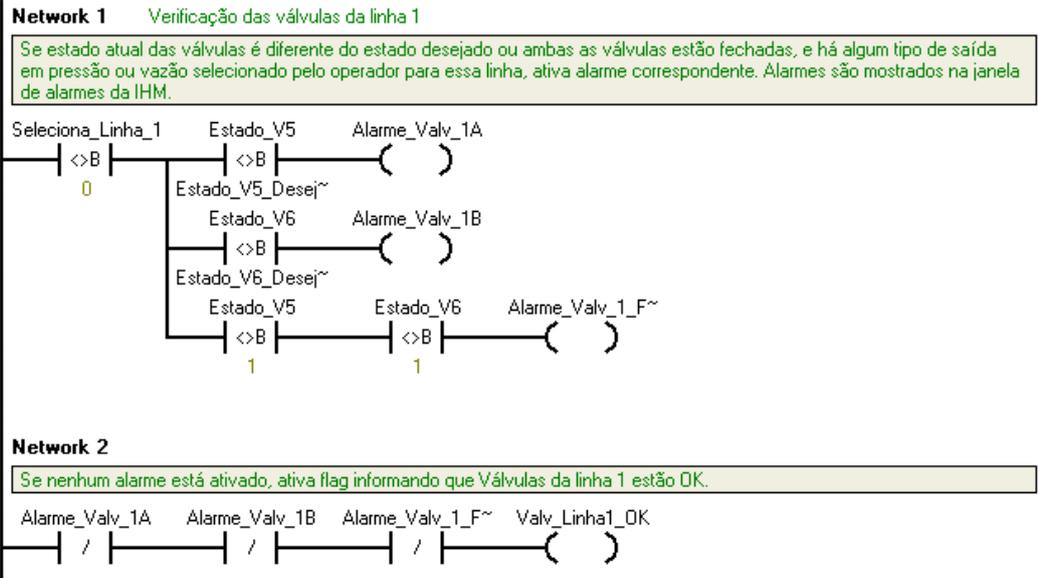


Figura 43 – Implementação em Ladder da verificação da posição das válvulas manuais da linha 1.

A verificação das válvulas das linhas de retorno difere ligeiramente da verificação para as linhas 1, 2 e 3. Nessa verificação os alarmes são ativados caso haja algum tipo de saída selecionado pelo operador na IHM para qualquer uma das três linhas da UH e alguma das válvulas de retorno esteja posicionada incorretamente (ver Figura 44).

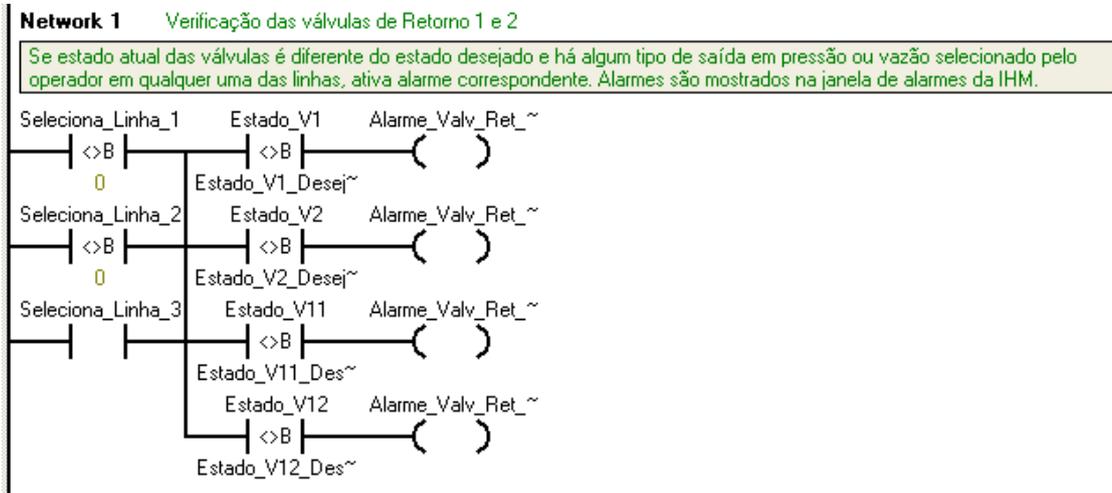


Figura 44 – Implementação em Ladder da verificação da posição das válvulas manuais das linhas de retorno.

6.6: Detecção de Erros Toleráveis

A detecção de filtros sujos e do nível de óleo baixo no reservatório é simples. Um sensor indica a ocorrência dessas situações, e então uma *tag* diferente é ativada para cada erro ocorrido (ver Figura 45). A ativação de pelo menos uma dessas *tags* ativa uma pequena janela no canto inferior direito da tela da IHM, onde o erro ocorrido é mostrado ao operador. Essa janela ficará ativa e piscando até que o erro suma.

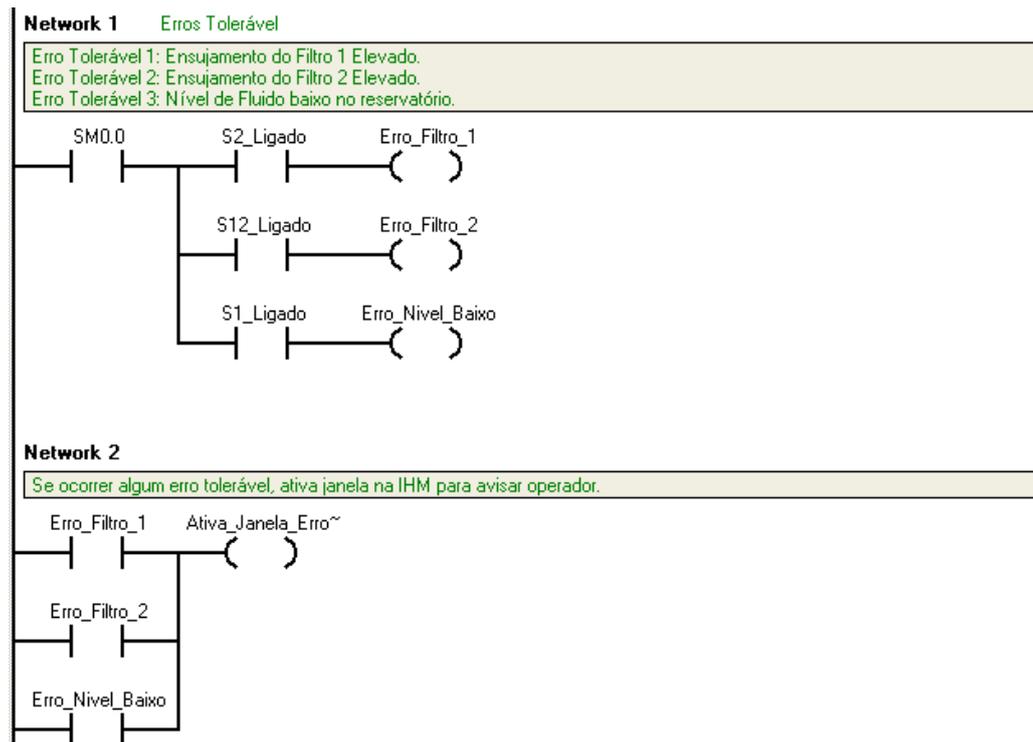


Figura 45 – Detecção do ensujamento elevado dos filtros e nível de óleo baixo no reservatório, ocasionando erro tolerável no sistema.

6.7: Detecção de Erros Semicríticos

Como comentado na seção 3.2:, um erro semicrítico ocorre quando o sistema atinge alguma situação que foge das condições ideais para a realização dos testes e ensaios. Mais particularmente, um erro semicrítico ocorre quando a temperatura do fluido se afasta da faixa tolerável de operação.

Se a temperatura de fluido diminui ao ponto de cruzar o valor mínimo tolerável, a *tag* *Erro_Temp_Baixa* é ativada. O mesmo vale para quando a temperatura do fluido aumenta ao ponto de cruzar o valor máximo tolerável, ativando a *tag* *Erro_Temp_Alta*.

A ativação de qualquer uma dessas *tags* ativa a *tag Erro_Semi_Critico*, sinalizando a ocorrência do erro.

Os valores mínimo e máximo toleráveis para a temperatura do fluido são calculados com base na temperatura desejada e na tolerância definida pelo operador na IHM. O valor mínimo é calculado como (Temperatura Desejada - Tolerância - 5°C) e o valor máximo como (Temperatura Desejada + Tolerância + 5°C) pelo *script Calcula_Valor_Temperaturas* executado pela IHM. Esses valores são salvos nas *tags Min_Temp_Erro* e *Max_Temp_Erro* respectivamente e usados para fazer a detecção do erro semicrítico (ver Figura 46).

A *tag Erro_Semi_Critico* é desativada quando a temperatura do fluido retorna à região considerada tolerável.

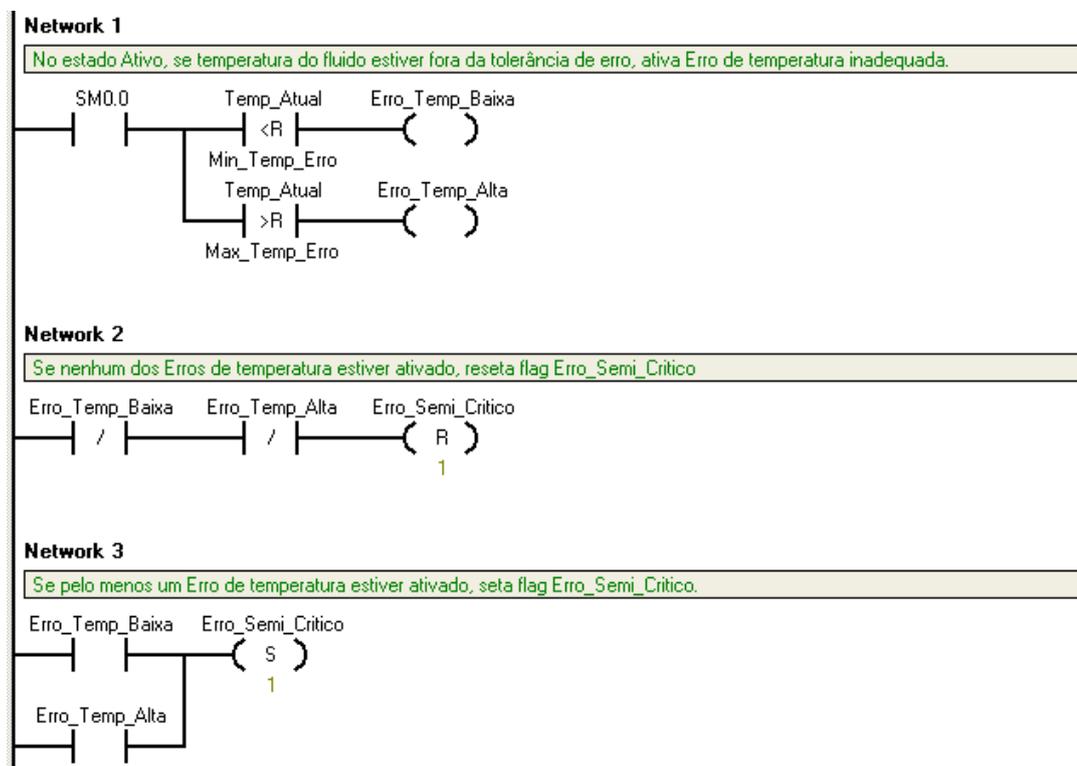


Figura 46 – Implementação em Ladder da detecção dos Erros Semicríticos.

6.8: Detecção de Erros Críticos

Um erro crítico ocorre quando alguma situação potencialmente perigosa, tanto para a segurança do operador quanto para o funcionamento dos componentes da unidade hidráulica, acontece durante o funcionamento da UH. Entre essas situações

está a alteração da posição das válvulas manuais do PI por parte do operador durante o funcionamento dos sistemas de bombeamento e o acionamento do botão de emergência.

A detecção da alteração da posição das válvulas manuais é bastante semelhante à verificação delas, feita por meio da comparação entre o estado desejado e o estado atual de cada válvula. A diferença está na ativação de uma *tag* sempre que essa comparação retornar um valor falso e o motor elétrico do sistema de bombeamento da linha à qual essa válvula pertence estiver ativado, indicando a ocorrência do erro crítico. Essa *tag* também serve para ativar uma mensagem específica na tela da IHM informando o operador exatamente sobre o erro ocorrido.

A Figura 47 mostra a implementação da detecção desse tipo de erro crítico para a linha 1. As linhas 2 e 3 possuem implementação semelhante. No caso das válvulas de retorno, o erro ocorre se houver mudança na posição das mesmas e pelo menos um dos sistemas de bombeamento estiverem ativados. A *tag* do erro crítico associada às válvulas é desativada quando a situação que originou o erro é desfeita (válvula retorna à posição correta, por exemplo).

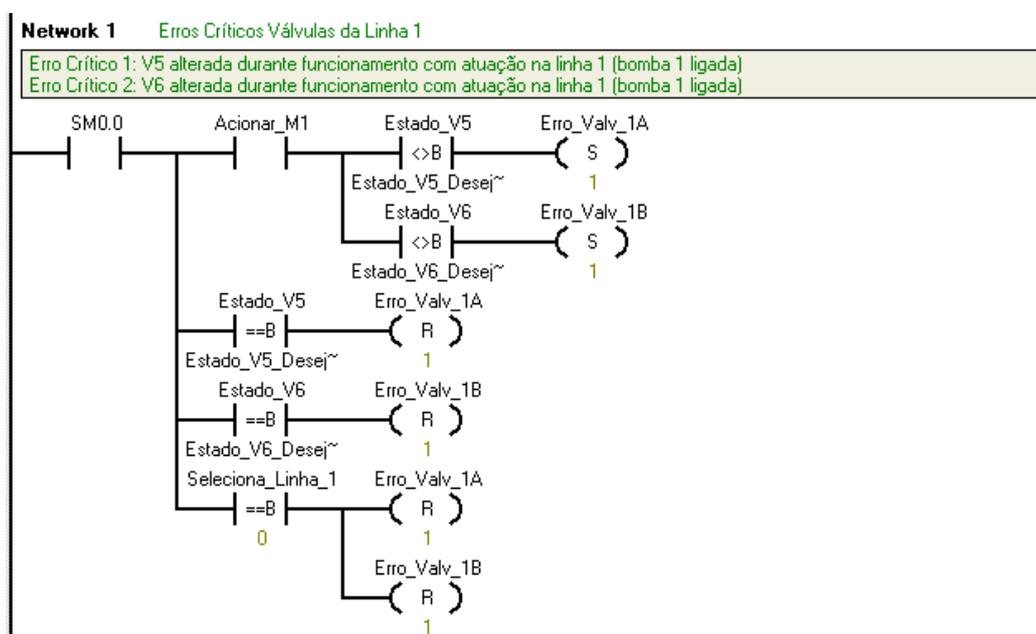


Figura 47 – Implementação em Ladder da detecção da mudança da posição das válvulas manuais durante funcionamento do sistema de bombeamento para a linha 1, ocasionando erro crítico.

Como no erro semicrítico, a ocorrência de pelo menos uma dessas situações ativa a *tag Erro_Critico*, que leva o sistema imediatamente ao estado Inativo, e abre a tela de erro crítico na IHM para informar ao operador o ocorrido.

6.9: Função Degrau

Para a implementação da saída tipo degrau das linhas 1 e 2, criou-se um bloco de função em *Ladder* visando reaproveitá-lo para as saídas degrau em vazão e pressão de ambas as linhas.

A função Degrau recebe como parâmetro de entrada o valor máximo desejado para a variável regulada. Este valor é do tipo *real* e sua unidade é em bar ou L/min se a variável regulada é pressão ou vazão, respectivamente. O parâmetro de saída é onde esse degrau será aplicado. Internamente, a função degrau é composta por um simples bloco *MOV_R*, que passa o valor máximo desejado para a saída escolhida (ver Figura 48).

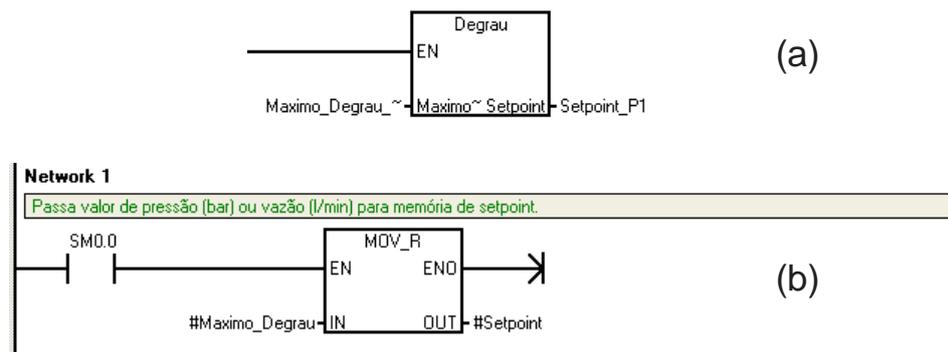


Figura 48 – Bloco da função Degrau aplicado na válvula de regulação de pressão da linha 1 (a) e lógica interna da função em Ladder (b).

6.10: Função Rampa

O efeito de rampa na saída é criado ao incrementar ou decrementar o valor da referência em pequenas parcelas periodicamente, até que se atinja o valor máximo desejado. Definiu-se que pequenos incrementos a cada 100 ms seriam suficientes para causar o efeito desejado. Dessa forma, criou-se um bloco de função Rampa, que é chamado a cada 100 ms por um timer pré-definido.

O bloco de função Rampa recebe três parâmetros do tipo *real*: valor máximo desejado em bar ou l/min, inclinação em bar/s ou L/min.s e a referência onde aquela rampa será aplicada.

Internamente ao bloco de função verifica se o valor máximo desejado para a rampa é maior, menor ou igual ao valor atual da referência, classificando a rampa em crescente, decrescente ou igual. A partir da inclinação é calculado o valor do incremento a ser realizado a cada 100 ms, dividindo-se a inclinação por 10. Esse valor é então somado ou subtraído ao valor de referência, dependendo da classificação da rampa. Esse ciclo se repete a cada 100 ms, até que o valor máximo é atingido.

A Figura 49 mostra o bloco de função Rampa. A lógica interna implementada em *Ladder* encontra-se no Apêndice C.

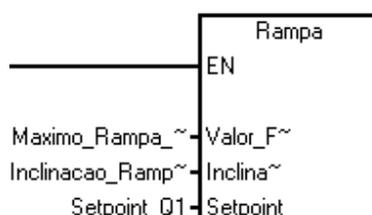


Figura 49 – Bloco de Função Rampa.

6.11: Função Senoidal

Assim como a função Rampa, para gerar a saída senoidal optou-se por fazer pequenos incrementos periodicamente para formar a curva seno. Criou-se um bloco de função Senoide que recebe cinco parâmetros do tipo *real*: amplitude e *offset* em bar ou L/min, frequência em Hz, fase em radianos e a referência onde a senoide será aplicada. Esse bloco é chamado a cada 50 ms por um *timer* pré-definido, o que dá uma resolução para a senoide de 20 pontos por segundo. Essa resolução é suficiente para gerar curvas seno satisfatórias nas frequências típicas dos ensaios realizados na UPCH, que variam de 0,1 até 5 Hz.

Internamente ao bloco de função, o cálculo do valor da referência inicia pelo cálculo do incremento de fase de acordo com a frequência desejada pelo operador. A frequência é convertida de Hz para rad/s e dividida por 20, número de vezes que a função senoide é chamada por segundo. Calculado o incremento de fase, soma-se

esse valor à fase passada como parâmetro e verifica-se se esse valor é maior que 2π . Em caso positivo, a fase é zerada, evitando *overflow* da variável. O novo valor da fase é salvo na mesma variável passada como entrada para uso na próxima vez que a função for chamada. Essa fase é utilizada como parâmetro de entrada em um bloco seno. O seno calculado é multiplicado pelo valor da amplitude, e o resultado é somado ao valor do *offset*. O bloco de função então retorna o valor dessa operação ao endereço da referência. Todas essas operações se repetem cada vez que a função é chamada, a cada 50 ms.

A Figura 50 mostra o bloco de função e a implementação em *Ladder* de todas essas operações.

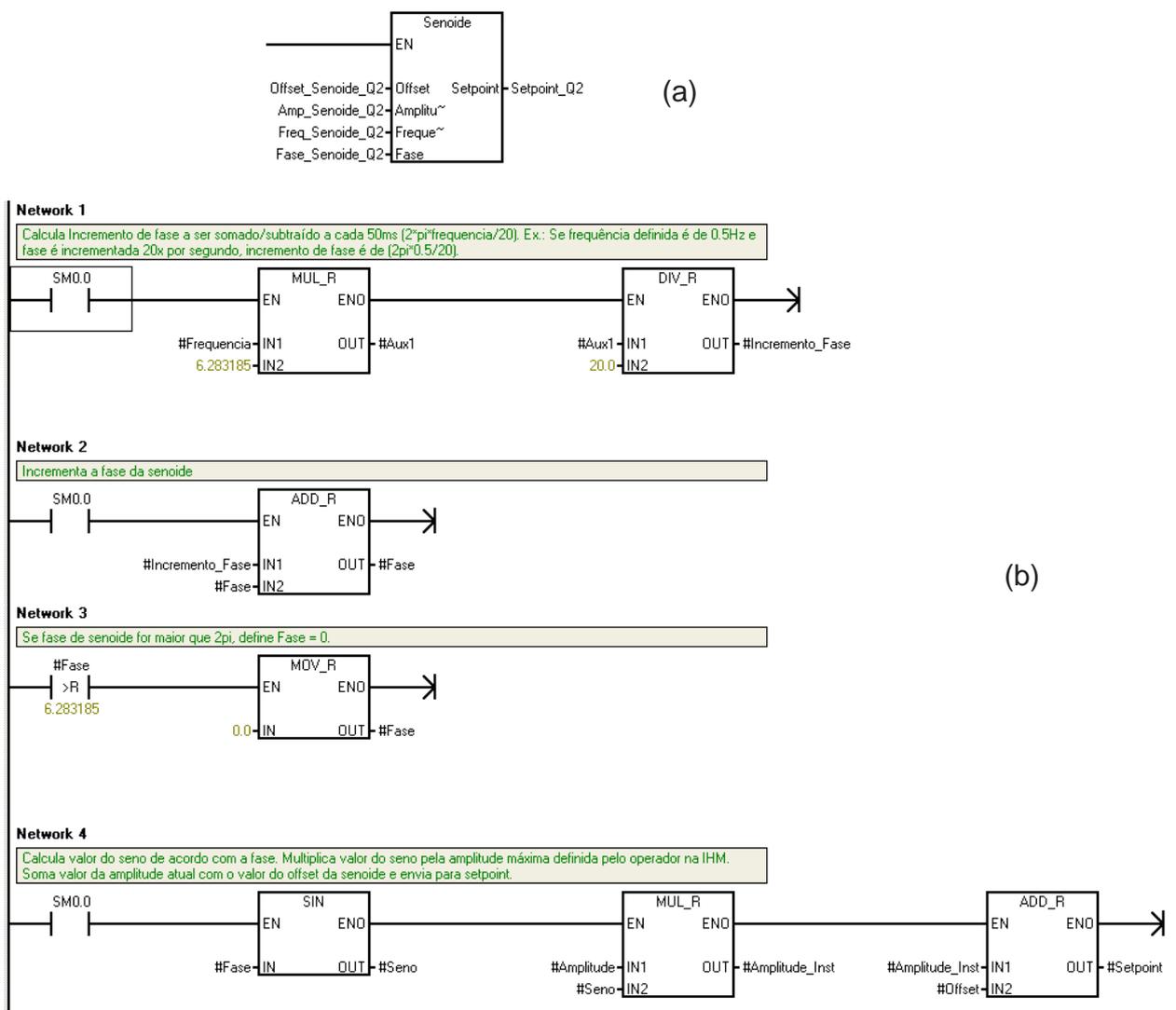


Figura 50 – Bloco da função Senoide (a) e implementação interna das operações desse bloco de função (b).

6.12: Conversão das referências para as saídas analógicas

As funções degrau, rampa e senoide implementadas retornam valores do tipo *real* em bar para pressão e L/min para vazão. É necessário, portanto, realizar uma conversão para transformá-los em valores do tipo inteiro e possibilitar o envio desses valores aos registradores das saídas analógicas.

Como dito na seção 2.4.3., as saídas analógicas dos módulos conectados ao CLP possuem registradores associados que suportam valores do tipo inteiro de 0 a 32000. A saída analógica em tensão, de 0-10 V, é proporcional ao valor escrito nesses registradores. Esse sinal passa por um amplificador de ganho 2,4 para ser compatível com a tensão de acionamento 0-24 V das válvulas. Portanto, o valor escrito nos registradores de 0-32000 é proporcional à 0-24 V aplicado nas válvulas. Com isso em mente, criou-se dois blocos de função:

6.12.1: Conversão de referências de pressão

O bloco de função *Conv_Bar_p_Registrador* é responsável por transformar a referência do tipo *real* em bar para um valor do tipo inteiro entre 0 e 32000 que regulará a pressão na linha desejada. Recebe como parâmetros o valor de referência de pressão em bar e a saída analógica para qual o valor convertido será enviado.

Para encontrar o fator de conversão, inicialmente levantou-se uma curva de tensão aplicada na válvula por pressão em bar na linha, medida pelo manômetro que se encontra no Painel de Monitoramento. Regulou-se a tensão para as pressões de 50, 70, 90 e 110 bar e uma aproximação linear foi traçada no *software* Microsoft Excel, que pode ser vista na Figura 51.

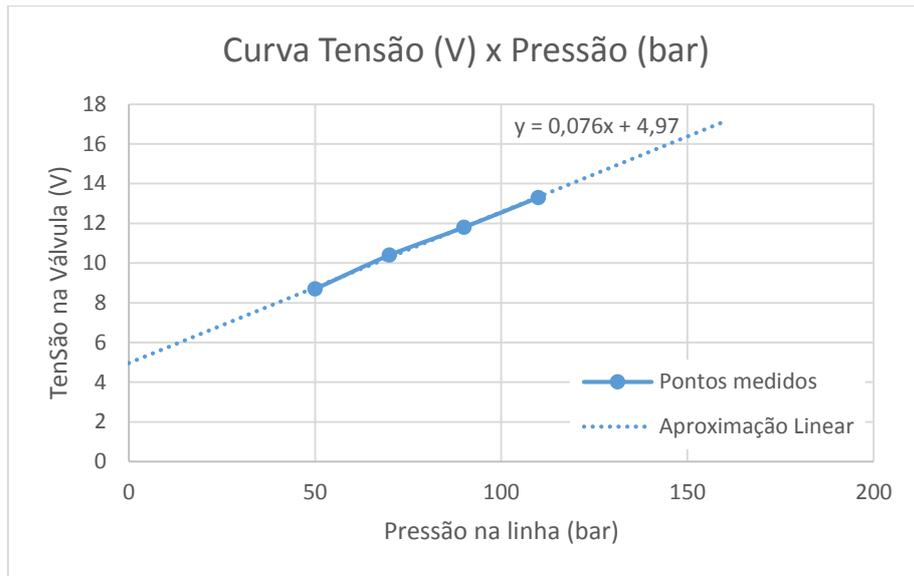


Figura 51 – Gráfico com os pontos tensão x pressão levantados e aproximação linear traçada. Observa-se uma zona morta de quase 5V na válvula.

Da aproximação linear inferiu-se uma equação para conversão de bar para tensão e notou-se uma zona morta de 4,97 V, devido principalmente à pré-carga da mola da válvula. Multiplicou-se essa equação por um ganho de 32000/24 (valor máximo do registrador sobre valor máximo de tensão da válvula) e obteve-se a equação de conversão implementada no bloco de função *Conv_Bar_p_Registrador*, mostrada na Equação 1.

$$\text{Valor Saída} = (0,076 * \text{Pressão} + 4,97) * \frac{32000}{24} = 101,33 * \text{Pressão} + 6626,66$$

Equação 1 – Fator de Conversão de pressão em bar para valor equivalente a ser escrito no registrador da saída analógica.

É importante salientar que essa calibração não é exata, e o valor de pressão efetivamente atingido pode depender de outros fatores, como a vazão do fluido. Os valores de pressão medidos para realizar essa calibração foram levantados com a válvula de vazão da linha completamente fechada.

O bloco de função *Conv_Bar_p_Registrador* transforma ainda o valor *real* para *double* através de arredondamento simples, e satura o valor da saída em 0 e 32000 através do bloco de função *Saturacao_Saida* (ver 6.13:) caso o valor a ser passado para o registrador não se encontre dentro desse intervalo. Após, converte-se o valor *double* para *inteiro*, e envia-se esse valor para o registrador da saída desejada.

A Figura 52 mostra o bloco de função *Conv_Bar_p_Registrador* e a implementação de sua lógica interna em *Ladder*.

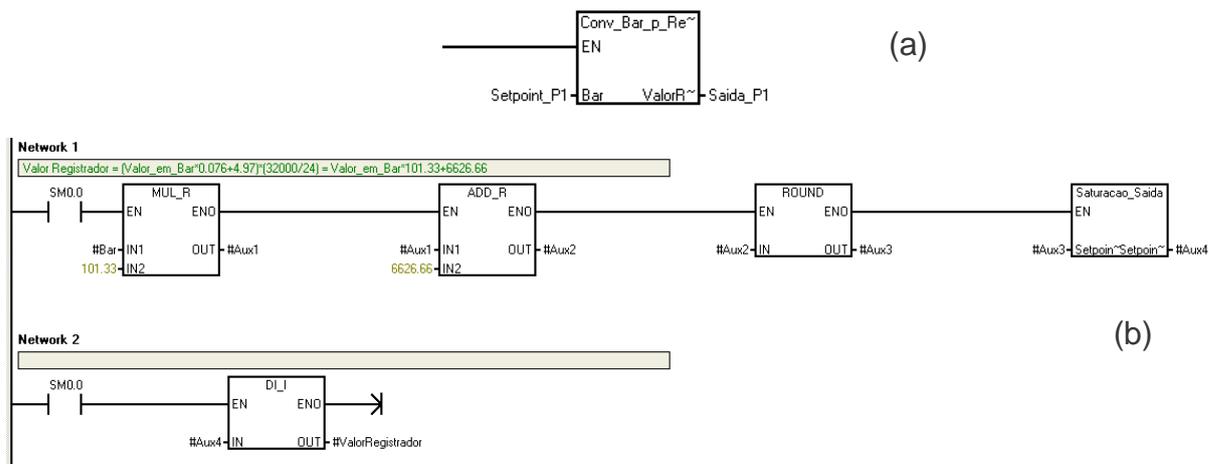


Figura 52 – Bloco de função *Conv_Bar_p_Registrador* (a) e implementação em *Ladder* das conversões internas (b).

6.12.2: Conversão de referências de vazão

O bloco de função *Conv_Lmin_p_Registrador* recebe dois parâmetros: o valor da vazão em l/min, do tipo *real*, e a saída analógica para qual o valor convertido será enviado.

Internamente o valor da vazão é multiplicado por um fator de 32000/50 (valor máximo do registrador sobre valor máximo da vazão em l/min) e então é arredondado e convertido para um valor *double*. Um bloco de função de saturação garante que o valor da saída estará entre 0 e 32000 e uma última conversão de *double* para *inteiro* é efetuado, antes de enviar o valor para a saída desejada.

Devido à ausência de um medidor de vazão no sistema, uma calibração como a feita para as válvulas de pressão não foi possível nesse caso. Recomenda-se, entretanto que essa calibração seja efetuada utilizando medidores de vazão externos, e implementada dentro do bloco de função *Conv_Lmin_p_Registrador*. A Figura 53 mostra o bloco de função e a implementação em *Ladder* da lógica de conversão interna.

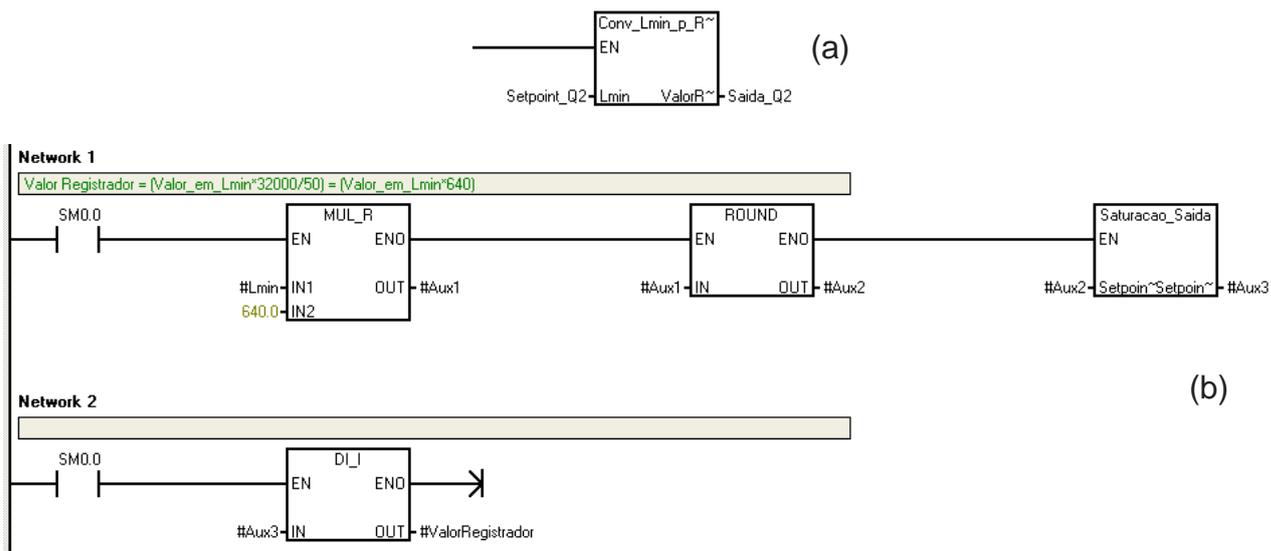


Figura 53 – Bloco de função *Conv_Lmin_p_Registrador* (a) e implementação em Ladder da lógica interna (b).

6.13: Função Saturação

Para garantir que os valores passados para os registradores das saídas analógicas respeitassem o mínimo e máximo de 0 e 32000 respectivamente, criou-se o bloco de função *Saturacao_Saida*. Esse bloco recebe um único parâmetro do tipo *double*, o valor de referência (*Setpoint*) desejado para a saída.

Internamente ocorre uma comparação do valor passado como parâmetros com os limites mínimo e máximo possíveis. Caso algum desses limites não seja respeitado, o valor mínimo ou máximo é retornado. Caso contrário, a função retorna o próprio valor passado como parâmetro.

O bloco de função *Saturacao_Saida* e a implementação da lógica interna em Ladder são mostrados na Figura 54.

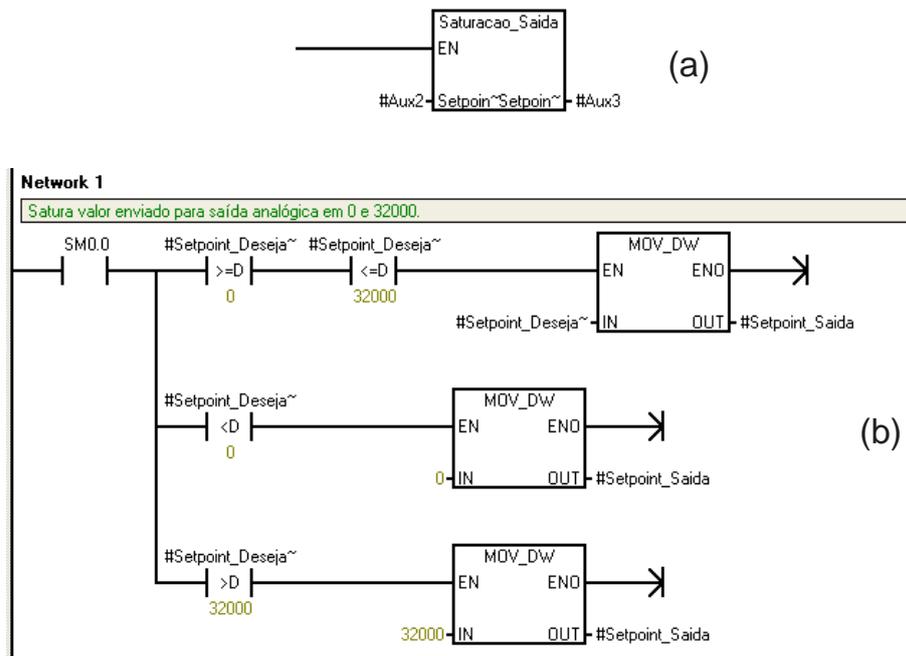


Figura 54 – Bloco `Saturacao_Saida` (a) e implementação interna da saturação (b).

6.14: Verificação da IHM

Por motivos de segurança criou-se uma rotina para verificar periodicamente se a IHM está ativa no computador. Como a IHM é um arquivo *runtime* executado no sistema operacional Windows, é possível que a mesma seja fechada involuntariamente por erros no sistema operacional ou que o operador encerre a aplicação *runtime* sem desativar o sistema da maneira correta, por exemplo.

A rotina `Verificacao_IHM` é composta de um *timer* configurado para estourar em 120s. Periodicamente, a cada 60 segundos, a IHM ativa a *tag* `HMI_OK`, que *desativa* o timer, evitando que o mesmo estoure. A *tag* `HMI_OK` é então zerada, e o ciclo se repete. Se a IHM é fechada por algum motivo, a *tag* `HMI_OK` não é ativada e o *timer* eventualmente estoura, ativando as *tags* `Botao_Desativar`, `Desligar_Sistema` e `Corta_AG_Seguranca` (ver Figura 55).

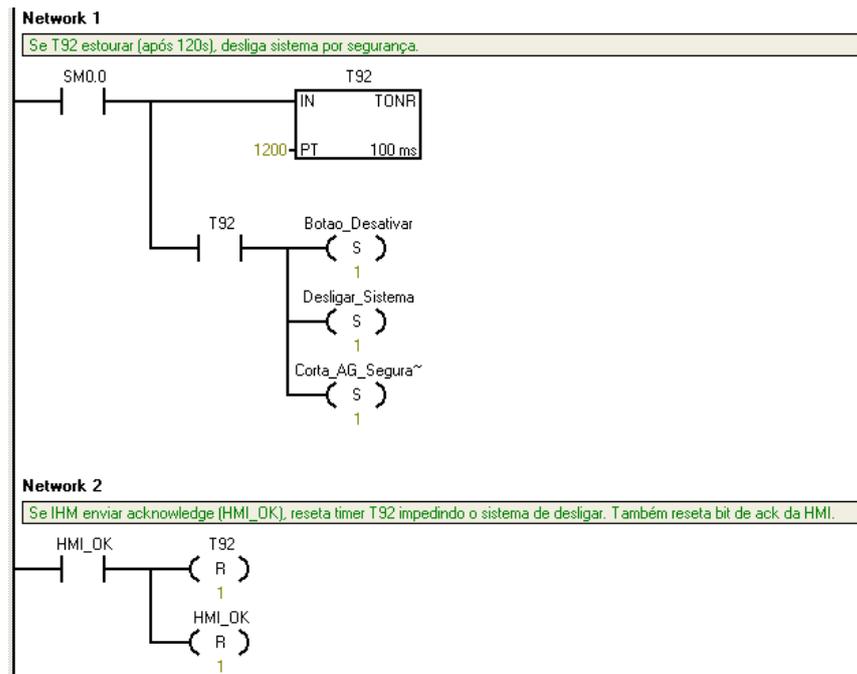


Figura 55 – Lógica da verificação da IHM implementada em Ladder.

6.15: Sub-rotina Desligar

Acionada quando o botão desligar é pressionado na IHM ou quando o sistema detecta que a IHM não está mais ativa, a função da Sub-rotina Desligar é realizar a inibição da alimentação da Unidade Hidráulica. Quando a sub-rotina é ativada, aguarda-se 30 segundos para realizar o desligamento da energia. A Figura 56 mostra a lógica implementada em *Ladder*.

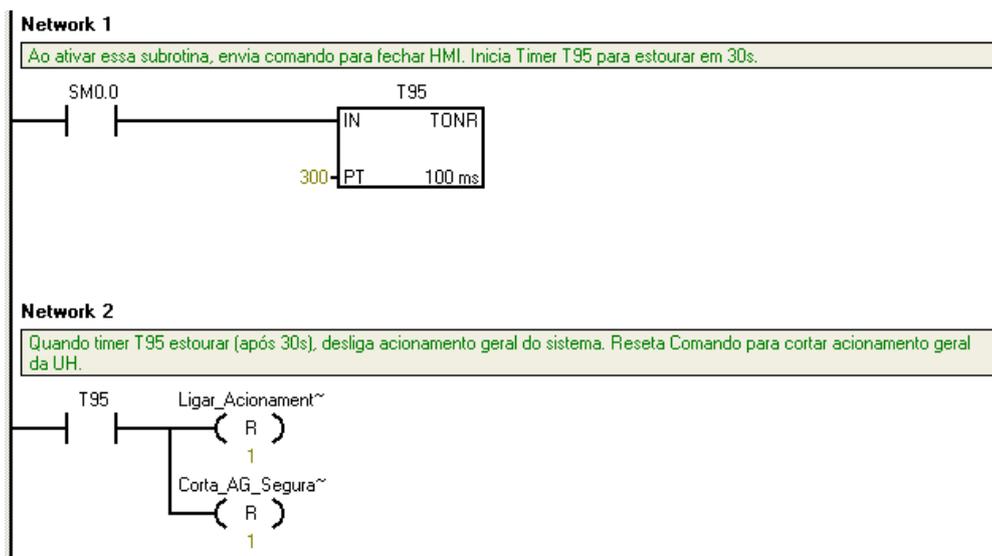


Figura 56 - Subrotina Desligar implementada em Ladder.

Capítulo 7: Resultados

A automação da Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico proposta no início do trabalho foi implementada de maneira satisfatória. A seguir serão apresentados alguns resultados da implementação.

A qualidade da implementação das saídas do tipo degrau, rampa e senoidal geradas pelo CLP e requeridas para uma maior usabilidade do sistema foram comprovadas com o uso de uma placa de aquisição AQX 4350, conectada às saídas analógicas dos módulos do CLP Siemens. Os dados eram enviados por USB para um computador portátil, e foram gravados pelo *software* MATLAB (ver Figura 57).

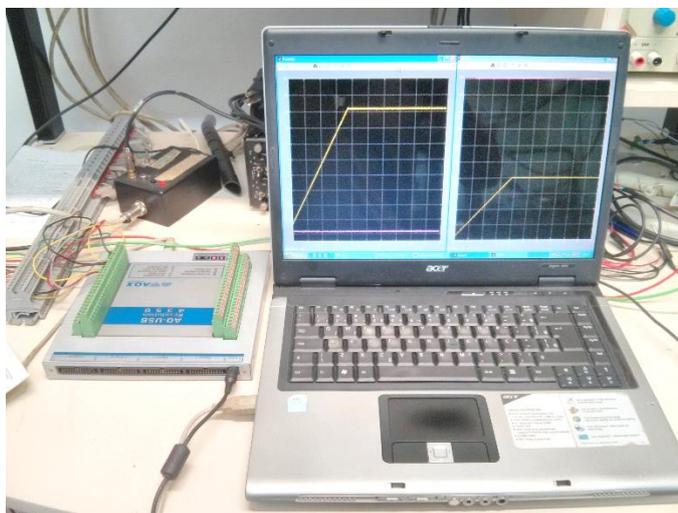


Figura 57 – Computador portátil e placa de aquisição de dados AQX 4350 utilizados para verificação das saídas em degrau, rampa e senoide.

A Figura 58 mostra os três tipos de saídas aplicados na válvula de regulação de pressão da linha 1. A Figura 59 mostra os três tipos de saída aplicados na válvula de regulação de vazão da linha 1. Pode-se observar que as referências foram geradas nas formas de onda esperadas, respeitando os parâmetros passados pelo operador. O mesmo resultado se aplica às válvulas proporcionais da linha 2 da Unidade Hidráulica.

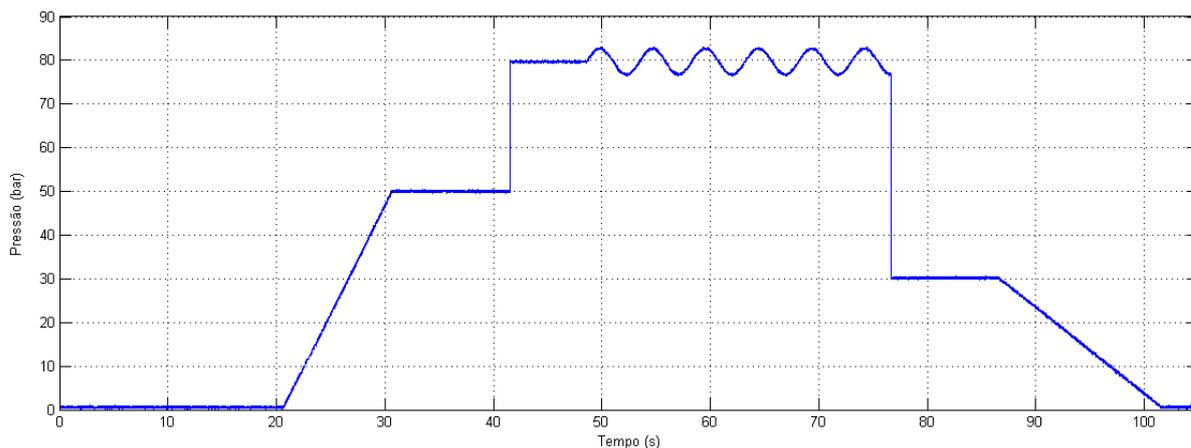


Figura 58 - Saídas do tipo rampa, degrau e senoidal aplicadas à válvula de regulação de pressão da linha 1. Dados adquiridos com placa AQX 4350.

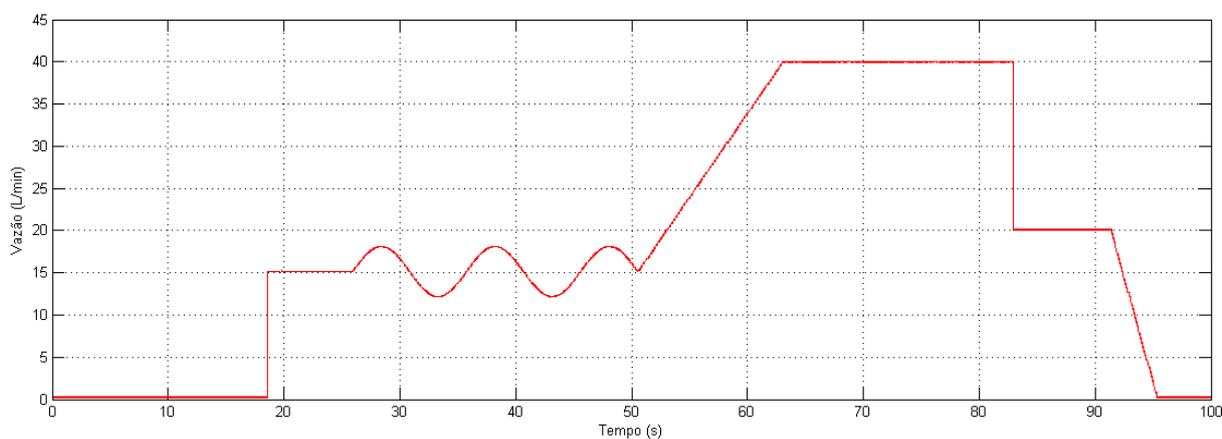


Figura 59 - Saídas do tipo rampa, degrau e senoidal aplicadas à válvula de regulação de vazão da linha 1. Dados adquiridos com placa AQX 4350.

Da mesma forma, pôde-se comprovar a efetividade da função saturação por meio da aquisição das saídas analógicas. A Figura 60 mostra uma senoide aplicada à válvula de regulação de vazão da linha 1 com a parte positiva saturada, i.e., limitada à 50 L/min, valor máximo que o sistema pode fornecer.

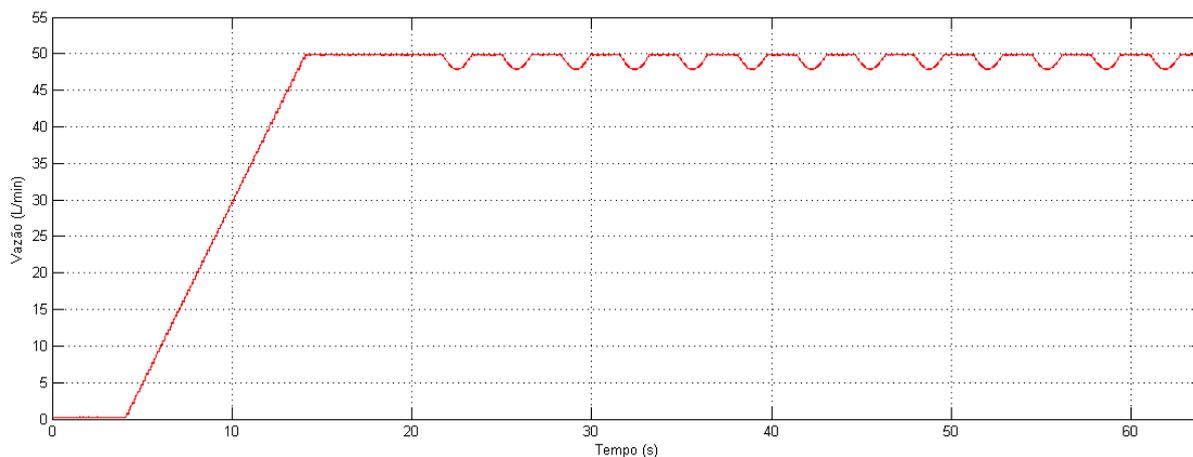


Figura 60 - Saída analógica saturada em 50 l/min durante o ciclo positivo da função senoide aplicada a partir de 20s.

A sequência de suspensão do sistema, iniciando pela pressão da linha 2, vazão da linha 2, pressão da linha 1 e terminando com a vazão da linha 1 também pôde ser visto por meio da aquisição das saídas analógicas (ver Figura 61). Essa sequência garante que os sistemas de bombeamento e válvulas proporcionais sejam desativados de maneira correta e evita desgastes que uma desativação abrupta poderia ocasionar, preservando a vida útil dos componentes.

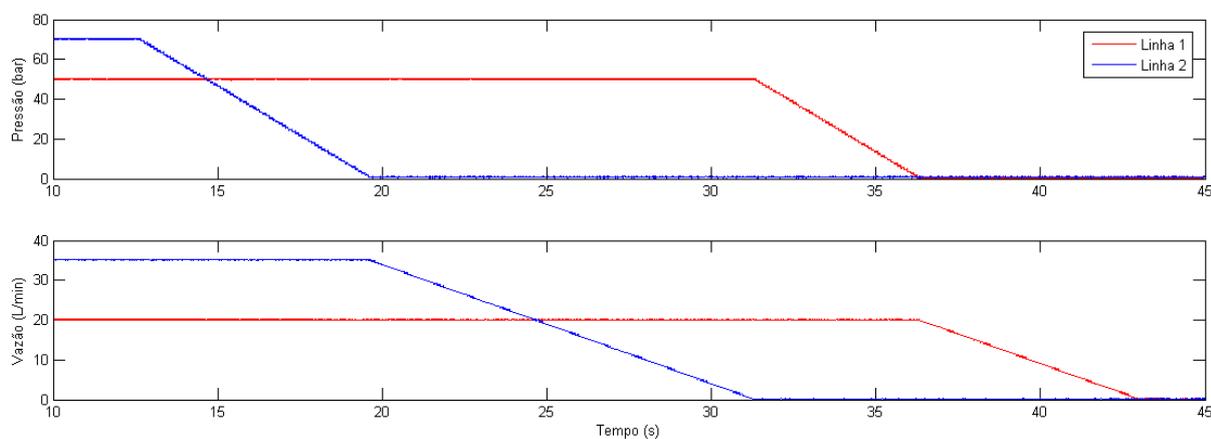


Figura 61 - Sequência de suspensão do sistema.

A segurança da operação do sistema foi garantida por meio da detecção dos erros críticos, semicríticos e toleráveis. Todas as implementações de detecção dos erros foram testadas com resultados positivos.

A usabilidade intuitiva foi atingida com um projeto de uma interface gráfica com elementos simples e de fácil utilização, passível de ser utilizada somente com um teclado convencional de computador.

Portanto, os pré-requisitos de usabilidade e segurança também foram cumpridos, e agora é possível utilizar a Unidade Hidráulica de maneira automática, objetivo principal do projeto, operando a partir da interface gráfica desenvolvida.

Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas

Neste documento abordou-se todas as etapas de definição e implementação da automação da Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico do Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da UFSC.

Os requisitos de segurança, performance e usabilidade propostos foram cumpridos de forma satisfatória e o objetivo final do projeto, a automação da unidade hidráulica, foi alcançado.

Sugere-se, para trabalho futuros, realizar o controle de pressão e vazão das linhas reguladas em malha fechada, o que garantiria que os parâmetros definidos pelo operador na interface gráfica desenvolvida fossem efetivamente fornecidos para o sistema hidráulico em teste na bancada.

Pessoalmente, a oportunidade de desenvolver esse projeto proporcionou uma grande aprendizagem, ampliando a gama de conhecimentos, e possibilitou novos desafios ao autor, de grande valia na preparação para o ingresso no mercado profissional.

Bibliografia:

- [1] LABORATÓRIO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS. UPCH 25/16.7 - Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico: Manual do Usuário V2.0. Florianópolis: LASHIP, 2004. 56 p.
- [2] SIEMENS. S7-200 Programmable Controller System Manual. SIEMENS, Edition 08/2005. 534 p.
- [3] IEC (International Electrotechnical Commission). IEC 60848: GRAFCET sequential language for sequential function charts. Genebra, 2002.
- [4] SIEMENS. WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced: User's Manual. SIEMENS, Edition 07/2008. 466 p.
- [5] BOLLMANN, ARNO. Fundamento da Automação Industrial Pneutrônica. São Paulo: ABHP, 1996.

Apêndice A

Script Calcula_Valor_Temperaturas

```
7 'Script Calcula_Valor_Temperaturas
8
9 'Calcula valor mínimo e máximo da temperatura para acionamento
10 'dos sistemas de aquecimento e resfriamento do fluido.
11 Min_Temp = Temp_Desejada_Internal - Tol_Temp
12 Max_Temp = Temp_Desejada_Internal + Tol_Temp
13
14 'Calcula valor mínimo e máximo da temperatura para ocorrência de erro semi crítico
15 Min_Temp_Erro = Temp_Desejada_Internal - Tol_Temp - 5
16 Max_Temp_Erro = Temp_Desejada_Internal + Tol_Temp + 5
17
18 'Passa valor da temperatura desejada pelo operador para o tag utilizada
19 'no Ladder do CLP
20 Temp_Desejada = Temp_Desejada_Internal
```

Script Passa_Parametros_CLP

```
7 'Script Passa_Parametros_CLP
8 'Quando executado, esse script passa valores definidos na IHM para o CLP
9 'Tag_CLP = Tag_Interna_IHM
10
11 'Degrau P1
12 Maximo_Degrau_P1 = Maximo_Bar_Degrau_P1
13
14 'Degrau P2
15 Maximo_Degrau_P2 = Maximo_Bar_Degrau_P2
16
17 'Rampa P1
18 Maximo_Rampa_P1 = Maximo_Bar_Rampa_P1
19 Inclinaçao_Rampa_P1 = Inclinaçao_Bar_Rampa_P1
20
21 'Rampa P2
22 Maximo_Rampa_P2 = Maximo_Bar_Rampa_P2
23 Inclinaçao_Rampa_P2 = Inclinaçao_Bar_Rampa_P2
24
25 'Senoide P1
26 Amp_Senoide_P1 = Amp_Bar_Senoide_P1
27 Offset_Senoide_P1 = Offset_Bar_Senoide_P1
28 Freq_Senoide_P1 = Freq_Hz_Senoide_P1
29
```

```

30 'Senoide P2
31 Amp_Senoide_P2 = Amp_Bar_Senoide_P2
32 Offset_Senoide_P2 = Offset_Bar_Senoide_P2
33 Freq_Senoide_P2 = Freq_Hz_Senoide_P2
34
35 'Degrau Q1
36 Maximo_Degrau_Q1 = Maximo_Lmin_Degrau_Q1
37
38 'Degrau Q2
39 Maximo_Degrau_Q2 = Maximo_Lmin_Degrau_Q2
40
41 'Rampa Q1
42 Maximo_Rampa_Q1 = Maximo_Lmin_Rampa_Q1
43 Inclinaçao_Rampa_Q1 = Inclinaçao_Lmin_Rampa_Q1
44
45 'Rampa Q2
46 Maximo_Rampa_Q2 = Maximo_Lmin_Rampa_Q2
47 Inclinaçao_Rampa_Q2 = Inclinaçao_Lmin_Rampa_Q2
48
49 'Senoide Q1
50 Amp_Senoide_Q1 = Amp_Lmin_Senoide_Q1
51 Offset_Senoide_Q1 = Offset_Lmin_Senoide_Q1
52 Freq_Senoide_Q1 = Freq_Hz_Senoide_Q1
53
54 'Senoide Q2
55 Amp_Senoide_Q2 = Amp_Lmin_Senoide_Q2
56 Offset_Senoide_Q2 = Offset_Lmin_Senoide_Q2
57 Freq_Senoide_Q2 = Freq_Hz_Senoide_Q2
58
59 'Acumulador Linha 2
60 Ativa_Acumulador = Selecciona_Acumulador
61
62 'Ativa saída em pressão desejada na linha 1
63 Ativa_Degrau_P1 = Selecciona_Degrau_P1
64 Ativa_Rampa_P1 = Selecciona_Rampa_P1
65 Ativa_Senoide_P1 = Selecciona_Senoide_P1
66
67 'Ativa saída em pressão desejada na linha 2
68 Ativa_Degrau_P2 = Selecciona_Degrau_P2
69 Ativa_Rampa_P2 = Selecciona_Rampa_P2
70 Ativa_Senoide_P2 = Selecciona_Senoide_P2
71
72 'Ativa saída em vazão desejada na linha 1
73 Ativa_Degrau_Q1 = Selecciona_Degrau_Q1
74 Ativa_Rampa_Q1 = Selecciona_Rampa_Q1
75 Ativa_Senoide_Q1 = Selecciona_Senoide_Q1
76
77 'Ativa saída em vazão desejada na linha 2
78 Ativa_Degrau_Q2 = Selecciona_Degrau_Q2
79 Ativa_Rampa_Q2 = Selecciona_Rampa_Q2
80 Ativa_Senoide_Q2 = Selecciona_Senoide_Q2
81
82 'Ativa/Desativa bomba saída não regulada 3 de acordo com parâmetro definido na HMI
83 Ativa_Linha_3 = Selecciona_Linha_3

```

Apêndice B

Mensagens da Janela de Alarmes da IHM

Mensagens possíveis na Janela de Alarme

Válvula 1A (V5) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula 1B (V6) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Não é possível ativar a linha 1, todas as válvulas da linha 1 estão fechadas.

Válvula 2A (V9) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula 2B (V10) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula 2C (V17) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula 2D (V18) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Não é possível ativar a linha 2, todas as válvulas da linha 2 estão fechadas.

Válvula 3A (V15) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula 3B (V16) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Não é possível ativar a linha 3, todas as válvulas da linha 3 estão fechadas.

Válvula de Retorno 1A (V1) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula de Retorno 1B (V2) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula de Retorno 2A (V2) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Válvula de Retorno 2B (V12) em estado diferente do desejado. Verifique antes de ativar o sistema.

Não é possível ativar o sistema, todas as válvulas de retorno estão fechadas.

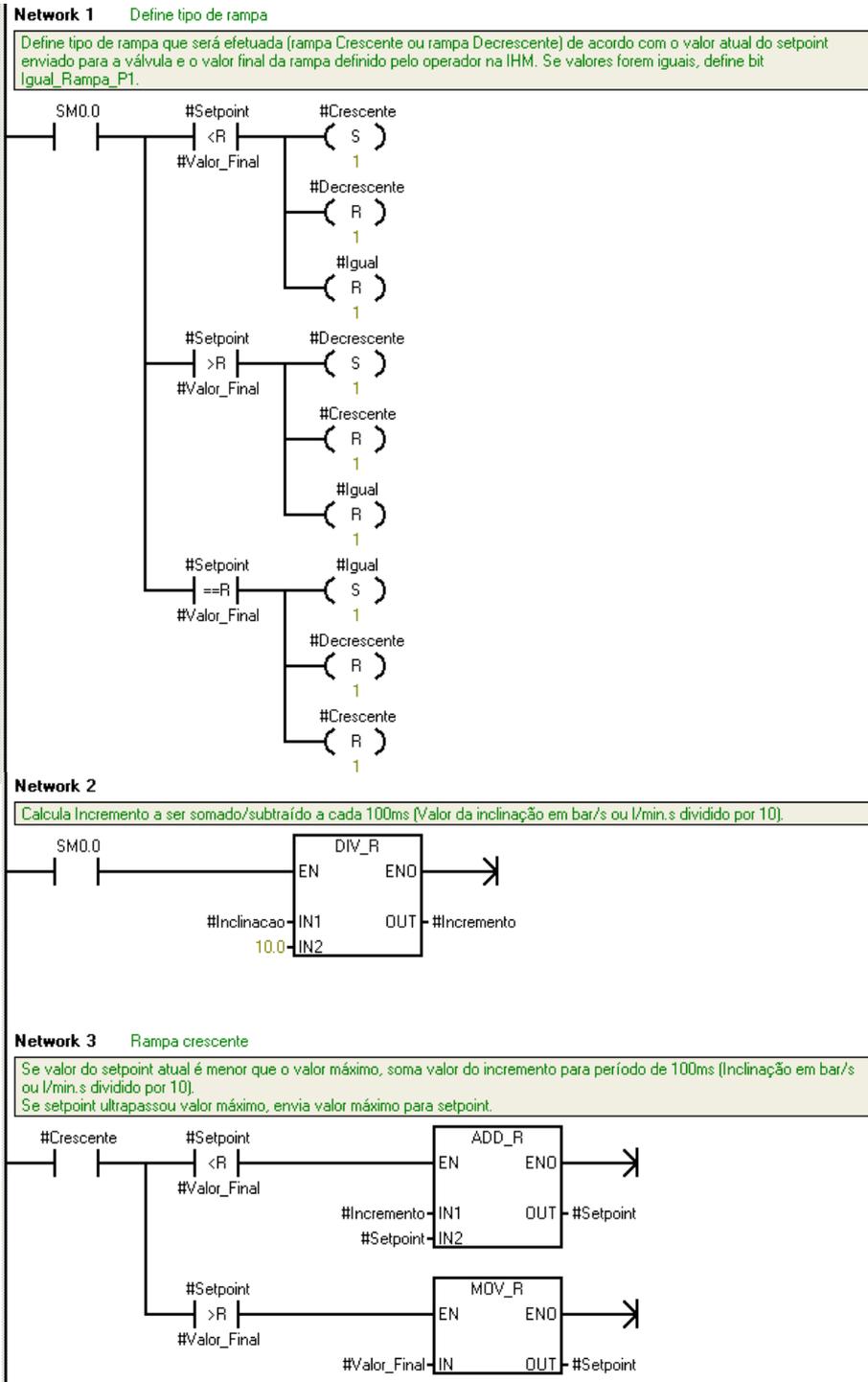
Botão de Emergência acionado, desacione para continuar.

Temperatura do Fluido abaixo do desejado, aquecendo.

Temperatura do Fluido acima do desejado, resfriando.

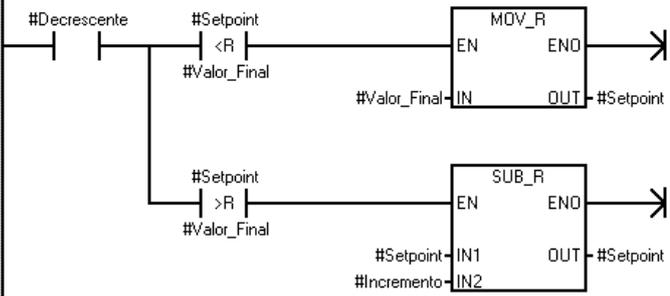
Apêndice C

Bloco de Função Rampa: Implementação em *Ladder*



Network 4 Rampa Decrescente

Se valor do setpoint atual é menor que o valor máximo, subtrai valor da inclinação para período de 100ms (Inclinação em bar/s ou l/min.s dividido por 10). Se valor do setpoint é maior que o máximo, envia valor máximo para setpoint.



Network 5

Se valor de Setpoint é igual ao valor máximo, passa Valor Máximo para Setpoint.

