

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

JOSÉ CARLOS DOMINGUES FLORES

**PROPOSTA DE MELHORIA NO CONTROLE DAS COMPORTAS DO
VERTEDOIRO DA UHE GOVERNADOR NEY AMINTHAS DE
BARROS BRAGA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2012

JOSÉ CARLOS DOMINGUES FLORES

**PROPOSTA DE MELHORIA NO CONTROLE DAS COMPORTAS DO
VERTEDOIRO DA UHE GOVERNADOR NEY AMINTHAS DE
BARROS BRAGA**

Monografia apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação Industrial.

Orientador: Prof. MSc. Guilherme Alceu Schneider

CURITIBA - PR

2012

Dedico este trabalho meus queridos pais que me ensinaram o valor da educação e o norte da vida na construção de um ser humano e de um mundo melhor.

A minha esposa e grande parceira Deo que me incentivou em todos os momentos desta caminhada e aos filhos Pedro Henrique e Sofia Gabriele pela compreensão nos momentos em que estive ausente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de amor, justiça e sabedoria, pois sem Ele nada é possível.

Aos colegas do curso de especialização, pela parceria nos trabalhos e pelos conhecimentos compartilhados que foram de grande importância durante todo o curso de especialização.

Ao prof. Guilherme Alceu Schneider, pelo privilégio de tê-lo como orientador, pela confiança depositada em mim, pela dedicação, incentivo e empenho para a realização deste trabalho.

Por fim, a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que chegasse até aqui.

RESUMO

FLORES, José Carlos D. **Proposta de melhoria no controle das comportas do vertedouro da UHE Governador Ney Aminthas de Barros Braga**. 2012. 79 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Esta pesquisa tem como meta apresentar as ferramentas e técnicas usadas no desenvolvimento de uma proposta de melhoria no controle das comportas do vertedouro da UHE Governador Ney Aminthas de Barros Braga. O trabalho de pesquisa tem como objetivo principal a elaboração de uma proposta de inovação tecnológica que possibilite a substituição do controle manual existente por um controle automático baseado em tecnologia digital. Neste sentido foi importante abordar o contexto histórico da energia hidráulica, os principais componentes de uma usina hidrelétrica, um breve estudo sobre os sistemas de controle em malha aberta e fechada, os vertedouros enfocando seus tipos, variáveis envolvidas e tipos de comportas, os controladores lógicos programáveis (CLPs), os sistemas de supervisão SCADA e algumas soluções disponíveis no mercado para controle de vertedouros. Entre os resultados efetivos deste trabalho de pesquisa, espera-se o desenvolvimento de proposta que possa servir de alternativa ao sistema convencional de controle de comportas da UHE Governador Ney Aminthas de Barros Braga, bem como aos controles convencionais utilizados por outras companhias de energia.

Palavras-chave: Automação. Vertedouro. Comportas. Usina Hidrelétrica. UHE Governador Ney Aminthas de Barros Braga.

ABSTRACT

FLORES, José Carlos D. Proposal for improvements in the control of spillway gates of Governador Ney Aminthas de Barros Braga Hydroelectric Power Plant. 2012. 79 pp. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

This research has as goal to present the tools and techniques used in developing a proposal for improving the control of spillway gates of Governador Ney Aminthas de Barros Braga Hydroelectric Power Plant. The research work has as main objective the development of a proposal that will allow technological innovation to replace the existing manual control by an automatic control based on digital technology. In this case was important to discourse the historical context of hydropower, the main components of a hydroelectric plant, a brief study of control systems in open and closed loops, the spillways focusing on their types, variables involved and types of gates, the programmable logic controllers (PLCs), SCADA supervisory systems and some solutions available in the market for control spillways. Between the effective results of this research, it is expected that the development proposal can serve as an alternative to conventional control gates of Governor Ney Aminthas de Barros Braga Power Plant, as well as conventional controls used by other energy companies.

Palavras-chave: automation, spillway gates, hydroelectric power plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa das Usinas da Copel no estado do Paraná.....	13
Figura 2 - Vista da UHE-GNB.....	19
Figura 3 - Principais componentes de uma Usina Hidrelétrica.....	20
Figura 4 - Principais elementos de um vertedouro.....	22
Figura 5 - Vertedouro da UHE-GNB.....	23
Figura 6 - Componentes do Tabuleiro (comporta vagão).....	24
Figura 7 - componentes das peças fixas.....	25
Figura 8 - Tipos de comportas hidráulicas.....	26
Figura 9 - Comporta segmento.....	27
Figura 10 - Vertedouro Retangular - dimensões gerais.....	28
Figura 11 - Valor de b e C' para vertedouros retangulares.....	30
Figura 12 - Exemplo didático de sistema de controle em malha aberta.....	31
Figura 13 - Exemplo didático de sistema de controle em malha fechada.....	31
Figura 14 - CLP e os dispositivos de entrada/saída.....	32
Figura 15 - Diagrama de blocos do hardware de um CLP.....	33
Figura 16 - Módulo de entrada digitais GEFANUC 9030.....	34
Figura 17 - Módulo de saídas digitais GEFANUC 9030.....	35
Figura 18 - Módulo de entradas analógicas GEFANUC 9030.....	35
Figura 19 - Módulo de saídas analógicas GEFANUC 9030.....	36
Figura 20 - Exemplo de programa escrito na linguagem IL.....	38
Figura 21 - Exemplo de programa escrito na linguagem ST.....	38
Figura 22 - Esquema dos componentes de programa na linguagem ladder.....	39
Figura 23 - Exemplo de programa escrito na linguagem ladder.....	39
Figura 24 - Aspecto de um bloco de função.....	40
Figura 25 - Exemplo de programa escrito na linguagem FBD.....	40
Figura 26 - Exemplo de programa escrito na linguagem SFC.....	41
Figura 27 - Arquitetura típica de hardware de um SCADA.....	42
Figura 28 - Arquitetura típica de um software de um SCADA.....	43
Figura 29 - Exemplo de Tela de IHM.....	45
Figura 30 - Gráfico de tendências.....	45
Figura 31 - Tela de Alarmes.....	46
Figura 32 - Ambiente de desenvolvimento.....	47
Figura 33 - Automatismo de movimentação comportas de vertedouro.....	47
Figura 34 - CIMS (Ceramax Integrated Measuring System).....	49
Figura 35 - Cilindro com a tecnologia Ceramax (UHE GJR).....	49
Figura 36 - Detalhe da instalação da medição no Cilindro (UHE GJR).....	50
Figura 37 - Diagrama das etapas de pesquisa.....	51
Figura 38 - Arquitetura proposta para sistema de controle das comportas.....	53
Figura 39 - FBD da lógica de pré-condição.....	58
Figura 40 - FBD da lógica de seleção de controle por pulso.....	58
Figura 41 - FBD da lógica de seleção de controle por setpoint.....	59
Figura 42 - FBD da lógica do comando de abertura.....	59
Figura 43 - FBD da lógica do comando de fechamento.....	60
Figura 44 - FBD da lógica do comando de reposição.....	60
Figura 45 - configuração canal MODBUS Master.....	61
Figura 46 - lógica de seleção da comporta em controle conjunto.....	62
Figura 47 - lógica de pré-condição para operação em controle.....	63
Figura 48 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto para as comportas.....	64

Figura 49 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto comportas 1 e 2	64
Figura 50 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto comportas 3 e 4	65
Figura 51 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto comportas 5 e 6	65
Figura 52 - sugestão da tela do controle conjunto das comportas do vertedouro	66
Figura 53 - sugestão da tela do controle individual das comportas do vertedouro	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COG	Centro de Operação da Geração
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CIMS	<i>Ceramax Integrated Measuring System</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
ONS	Operador Nacional do Setor Elétrico
SALL	<i>State And Logic Language</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
UTR	Unidade Terminal Remota
UHE-GNB	Usina Hidrelétrica Governador Ney Aminthas de Barros Braga

LISTA DE SÍMBOLOS

H	diferença entre a cota da soleira e o nível de água a montante
P	distância entre a cota da soleira e a cota de fundo do reservatório ou canal
L	dimensão da soleira através da qual há o escoamento
P'	distância entre a cota da soleira e a cota de fundo do reservatório ou canal
e	espessura da parede
B'	largura do canal de aproximação
N.A	nível da água
Lc	largura da crista
A	comprimento a montante
K	comprimento a jusante
Lv	largura da caixa
E	profundidade da caixa
C	distância do fim da crista à lateral da caixa
F	distância ao medidor de nível F
Q	vazão em m ³ /s

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	12
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
1.3	PROBLEMA	14
1.4	JUSTIFICATIVA	15
1.5	OBJETIVOS	16
1.5.1	Objetivo geral	16
1.5.2	Objetivos específicos	16
1.6	METODOLOGIA	16
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	A USINA HIDRELÉTRICA GOV. NEY AMINTAS DE BARROS BRAGA	19
2.2	VERTEDOUROS	21
2.3	COMPORTA HIDRÁULICA	23
2.3.1	Componentes	23
2.3.2	Tipos e classificações	25
2.3.3	Comporta segmento	26
2.4	VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NO CONTROLE DE UM VERTEDOURO	27
2.5	SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA ABERTA E MALHA FECHADA	30
2.6	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	32
2.6.1	Estrutura e hardware do CLP	33
2.6.2	Linguagens de programação	37
2.7	SISTEMAS DE SUPERVISÃO SCADA	41
2.7.1	Arquitetura de <i>hardware</i>	42
2.7.2	Arquitetura de <i>software</i>	42
2.7.3	Características e funcionalidades	43
2.8	SOLUÇÕES PARA CONTROLE DE VERTEDOUROS EXISTENTES	47
3	PROPOSTA DE MELHORIA NO CONTROLE DAS COMPORTAS	51
3.1	ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO	52
3.1.1	Detalhamento do nível 0	53
3.1.2	Detalhamento do nível 1	60
3.1.3	Detalhamento do nível 2	66
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICES	72
	APÊNDICE A – Controle das comportas do vertedouro - Requisitos	72
	ANEXOS	73
	ANEXO A – Diagrama elétrico do painel de controle da comporta	73

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações iniciais sobre o presente estudo, os aspectos relativos à definição do tema, sua delimitação, o problema, a justificativa, os seus objetivos, a metodologia de pesquisa adotada, bem como a estrutura deste estudo.

1.1 TEMA

Explorando o contexto histórico da energia hidráulica, Tolmasquim (2005, p. 10), destaca que “Há mais de 2000 anos atrás, rodas d’água de madeira eram usadas para converter a energia cinética em mecânica, particularmente para bombeamento de água de moagem de grãos”.

Ainda neste contexto histórico, Tolmasquim (2005) explica que as primeiras usinas hidrelétricas eram de pequeno porte e aproveitavam quedas d’água situadas próximas às cidades. A tecnologia disponível nessa época limitava não só o porte das usinas como a extensão das linhas de transmissão.

Tolmasquim (2005) complementa ainda que em 1882 nos Estados Unidos, foi construída a primeira usina para a produção de energia elétrica. No Brasil, a primeira usina hidrelétrica destinada ao serviço público foi a Usina de Marmelos, construída no ano de 1889 em Juiz de Fora, Minas Gerais. Ainda na primeira metade do século XX, a grande maioria das usinas hidrelétricas foi instalada na região Sudeste, visto que esta era a região de maior desenvolvimento da época.

Na região Sul, especificamente no Paraná, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) atua simultaneamente na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Isso implica na operação de usinas, linhas de transmissão, subestações e redes de distribuição, agindo no processo desde a produção de eletricidade até sua entrega ao usuário final.

No âmbito da Companhia, a subsidiária integral Copel Geração e Transmissão S.A. é administrada pela Diretoria de Geração, Transmissão de Energia e de Telecomunicações da Copel, e é a área responsável pela execução de todos os serviços e atividades inerentes à geração de energia da Concessionária (COMPANHIA..., 2012).

No início da década de 60, a Copel deu início à construção de empreendimentos de geração e, desde então, implantou as usinas hidrelétricas Governador Pedro Veriato Parigot de Souza (UHE GPS), Júlio de Mesquita Filho (UHE JMF) que já foi desativada, Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (UHE GBM), Governador Ney Aminthas de Barros Braga (UHE GNB), Derivação do Rio Jordão (UHE DRJ), e, mais recentemente, a Usina Governador José Richa (UHE GJR) (COMPANHIA..., 2012).

De acordo com a Copel (COMPANHIA..., 2012), a área de geração da empresa é constituída de dezoito usinas hidrelétricas e de uma usina termelétrica. Todas as informações sobre as usinas estão disponíveis na Intranet Copel Geração e no endereço eletrônico da Companhia.

A operação das usinas é executada de forma centralizada por meio do Centro de Operação da Geração (COG), onde equipes de gestão e operação são responsáveis pela coordenação operacional das usinas da Companhia visando à maximização da disponibilidade e à manutenção da segurança operacional das unidades.

O mapa de distribuição de todas as usinas da Copel dentro do estado do Paraná é mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Mapa das Usinas da Copel no estado do Paraná
Fonte: Copel (COMPANHIA..., 2012)

Segundo a Copel (COMPANHIA..., 2012), a UHE-GNB é a segunda usina da Copel em potência instalada, possuindo uma capacidade de 1.260 MW. Está localizada no Rio Iguaçu, a 2 km da montante da foz do Rio Jordão, no município de Mangueirinha, a aproximadamente 285 km de Curitiba e será o objeto maior deste estudo.

O presente trabalho tem como meta o desenvolvimento de uma proposta de melhoria aos sistemas convencionais de controle das comportas do vertedouro de usinas hidrelétricas, de modo a permitir a operação de forma segura e confiável.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho dará ênfase a lógica a ser implementada em um controlador, outros subsistemas (central hidráulica e painel de comando local) somente serão citados para promover o entendimento da solução no contexto do controle das comportas e não farão parte do escopo desse trabalho.

1.3 PROBLEMA

Atualmente o controle das comportas da UHE-GNB é realizado de forma manual, ou seja, dependendo das condições hidrológicas são necessárias manobras no vertedouro a fim de manter o nível do reservatório dentro dos parâmetros de segurança da planta. Basicamente, são executados comandos de abertura ou fechamento das comportas em função das condições hidrológicas da época.

Uma particularidade do controle hoje existente, é que quando é executado um comando de abertura ou fechamento, o mesmo só é cessado quando for executado um outro comando de parada. Desta forma, durante as manobras no vertedouro há necessidade que o operador volte a sua atenção exclusivamente para esta tarefa.

Capelli (2008) enfatiza que:

Utilizar pessoas em tarefas repetitivas e que não exijam raciocínio e poder de decisão é o mesmo que construir uma usina para acender uma simples lâmpada. Indivíduos devem que ser aproveitados em trabalhos que demandem processos analíticos e cognitivos. É aí que a automação industrial entra (CAPELLI, 2008, p. 12).

Apoiada na análise crítica do contexto apresentado, tem-se como inquirição delimitadora para pesquisa a seguinte pergunta:

Como elaborar uma proposta de melhoria para o controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB, de modo a possibilitar a supervisão e o controle de forma segura e confiável da instalação?

Discorrendo sobre a problemática e a pergunta apresentada, a principal premissa deste trabalho de pesquisa é que acredita-se que com uma proposta de

inovação tecnológica para automatização do controle de comportas, poderia liberar o operador para tarefas mais nobres da planta, além de representar um aumento da confiabilidade, disponibilidade e conseqüente redução da taxa de falhas.

1.4 JUSTIFICATIVA

É inegável que desenvolver soluções com sucesso se tornou uma das necessidades de sobrevivência e progresso da empresa moderna, uma vez que isso pode representar um instrumento eficaz para a produção de resultados expressivos. Dentre tais resultados pode-se citar: redução de custos e prazo, aumento da visibilidade e confiabilidade dos seus produtos e serviços, e principalmente vantagem competitiva frente aos seus concorrentes.

Motivado pela importância do vertedouro na segurança operacional da planta de uma usina hidrelétrica, aliado e em conformidade com as tendências de automação, torna-se imprescindível o desenvolvimento de soluções que possibilitem a operação confortável e segura das comportas do vertedouro.

Silveira e Santos (2002, p. 29) contribuem com algumas respostas, quando questionados sobre por que automatizar. São elas:

- a) trata-se de um processo de evolução tecnológica irreversível;
- b) valorização do ser humano em sua liberação na execução de tarefas entediantes e repetitivas, ou mesmo em situações de trabalhos insalubres e de riscos;
- c) aumento da qualidade de vida de toda uma sociedade, promovendo seu conforto e maior integração;
- d) maior enriquecimento pelo menor custo do produto (pela baixa manutenção, ou pela rapidez e precisão na execução de tarefas) ou pelo aumento de produtividade (num curto espaço de tempo);
- e) uma questão de sobrevivência e forte apelo de marketing, dentro de um mercado altamente competitivo;
- f) criação de empregos diretos e indiretos, além de novos empregos relacionados à manutenção, desenvolvimento e supervisão de sistemas;
- g) busca pela qualidade do produto e a satisfação do cliente.

Alinhado com os pontos de vista de Silveira e Santos (2002) percebeu-se a relevância da elaboração de uma proposta para a automatização do controle de comportas da UHE-GNB.

1.5 OBJETIVOS

Os objetivos constituem a finalidade deste trabalho, ou seja, a meta que se pretende atingir com a elaboração da pesquisa.

1.5.1 Objetivo geral

Propor uma solução que atenda aos requisitos para a operação local e remota do controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB.

1.5.2 Objetivos específicos

Para o detalhamento do objetivo geral, foi necessário desdobrá-lo em objetivos específicos conforme abaixo:

- a) Levantar os requisitos para possibilitar a operação local e remota do sistema.
- b) Investigar possíveis melhorias para o sistema atual.
- c) Identificar o sensoriamento para a medição de abertura das comportas.
- d) Propor a integração com o sistema digital de supervisão e controle existente.
- e) Especificar o CLP (Controlador Lógico Programável) adequado para a solução do problema.
- f) Propor o algoritmo de programação de modo a garantir o funcionamento da instalação e atender os requisitos.

1.6 METODOLOGIA

Para discorrer sob a elaboração de uma proposta de melhoria para o controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB foi necessário realizar uma pesquisa bibliográfica com o propósito de alicerçar o embasamento teórico, e também de apoiar os temas abordados através de autores que já publicaram obras relacionados aos assuntos.

Nesta pesquisa bibliográfica realizou-se um estudo sobre a UHE-GNB, que é o local objeto deste estudo, bem como um breve histórico sobre a usina e seu funcionamento.

Na sequência foi realizado um estudo sobre os vertedouros e comportas hidráulicas, abordando seus principais componentes, tipos e classificações, dando ênfase no tipo de vertedouro retangular e na comporta do tipo segmento que possuem as características relacionadas ao vertedouro da usina em questão.

Também foi necessário pesquisar sobre as variáveis envolvidas no controle de um vertedouro, bem como os sistemas de controle de malha aberta e fechada, de modo proporcionar o entendimento do controle a ser aplicado, e estabelecer o relacionamento com suas variáveis de entrada e saída.

A seguir foi realizado um estudo sobre os CLP, enfatizando seu hardware e linguagens de programação, além dos sistemas supervisórios *SCADA* abordando sua arquitetura de *hardware* e *software*, bem como suas características e funcionalidades. Esta parte do estudo foi de suma importância, pois possibilitou a fundamentação de uma das partes mais importante do sistema que constituirá a interface entre o operador do sistema e das comportas que serão controladas.

Na sequência, foi realizado um estudo sobre algumas soluções utilizadas no controle de vertedouros de modo a identificar qual o melhor dispositivo a ser utilizado na medição da abertura da comporta e sua adequabilidade à instalação existente.

Os dados referentes as normas operativas e procedimentos operacionais aplicados ao controle de vertedouros foram obtidos através de uma pesquisa documental na COPEL e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Esta etapa da pesquisa se desenvolveu através de pesquisa documental no ONS (OPERADOR..., 2012), e também COG (CENTRO..., 2006), convém salientar que este estudo se tornou necessário para garantir a compatibilidade da solução a ser proposta com as normas tanto da companhia, bem como dos órgãos reguladores.

Com intuito de identificar as necessidades e as melhorias esperadas foi realizada uma pesquisa de campo junto aos usuários, com técnica de observação participante, explorando suas experiências, práticas e atividades diárias. Esta pesquisa foi importante, pois possibilitou subsidiar a elaboração de uma proposta que viesse de encontro as expectativas dos usuários finais.

Na sequência do trabalho de pesquisa foi necessário realizar um estudo detalhado do sistema existente, visto que a solução a ser proposta deveria estar

adequada a instalação em campo, pois a tanto a central hidráulica e os dispositivos mecânicos das comportas não seriam substituídos. Basicamente este trabalho se desenvolveu através da análise dos desenhos e diagramas elétricos da central hidráulica das comportas e periféricos.

No momento seguinte, conforme é mostrado no apêndice A, houve a necessidade de produzir um documento de requisitos subsidiado pela pesquisa realizado junto aos usuários e que também fosse compatível com a instalação existente. O principal motivo da elaboração deste documento era de servir como elemento delineador da proposta de melhoria.

Por fim, uma vez executada a consistência dos requisitos frente à instalação existente e alinhado ao objetivo estabelecido, foi desenvolvida uma proposta de melhoria no controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB que será apresentada e discutida no capítulo 3.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em 4 capítulos. Este primeiro capítulo apresenta questões relativas à definição do tema, o problema, a justificativa para o trabalho, e os objetivos tanto geral como específico, a metodologia de pesquisa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica que em um primeiro momento é apresentada a UHE-GNB, feito um estudo sobre os vertedouros, as comportas hidráulicas, as variáveis envolvidas em sistema de controle de vertedouro, os sistemas de controle em malha aberta e fechada, os sistemas supervisórios, controladores lógicos programáveis (CLP) e sistemas para controle de vertedouros existentes.

O Capítulo 3 trata da apresentação da proposta do sistema propriamente dito, ou seja, o resultado obtido pela análise, compilação e tratamento dados levantados e observados no estudo ora proposto.

O Capítulo 4 trata das considerações finais, ao fim do qual espera-se que este trabalho possa contribuir e subsidiar o desenvolvimento de um sistema que possa ser utilizado para o controle de comportas de vertedouro da UHE-GNB, e também de outras instalações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é abordada a fundamentação teórica que serve de suporte ao trabalho de pesquisa. Nele, em um primeiro momento é apresentada a UHE-GNB, após é feito um estudo sobre os vertedouros, as comportas hidráulicas, as variáveis envolvidas em sistema de controle de vertedouro, os sistemas de controle em malha aberta e fechada, os sistemas supervisórios, controladores lógicos programáveis (CLP) e sistemas para controle de vertedouros existentes.

2.1 A USINA HIDRELÉTRICA GOV. NEY AMINTHAS DE BARROS BRAGA

Segundo a Copel (COMPANHIA..., 2012), a usina, anteriormente denominada de Usina de Segredo, recebeu seu nome em homenagem ao Governador Ney Braga, que governou o Paraná por duas vezes, de 1961 a 1965 e de 1979 a 1982. Na Figura 2 a seguir é mostrada a vista panorâmica da Usina.



Figura 2 - Vista da UHE-GNB
Fonte: Copel (2012)

Souza, Fuchs e Santos (1983, p. 14-39) explicam que uma usina hidrelétrica é composta basicamente, de barragem, captação e condutos de adução de água, casa de máquinas e restituição de água, como podem ser observado na Figura 3.



Figura 3 - Principais componentes de uma Usina Hidrelétrica
 Fonte: Google Maps (2012)

A barragem interrompe o curso normal do rio, formando um lago artificial conhecido como reservatório, sua principal função é armazenar água e prover a queda d'água quando não existir desnível natural, permitindo uma captação de água em um nível adequado para geração de energia.

A captação e condutos de adução de água são responsáveis por levar através de túneis, canais ou condutos até a casa de força a água captada no reservatório.

A casa de maquinas que também é conhecida como casa de força, abriga as turbinas que convertem energia cinética em mecânica, bem como os geradores que são acoplados mecanicamente por meio de eixos às turbinas, e convertem a energia mecânica das turbinas em energia elétrica.

A restituição de água é ponto no qual água depois que passa pelas turbinas, é devolvida ao leito natural do rio. A este local convencionou-se chamar de canal de fuga.

Souza, Fuchs e Santos (1983, p. 24) explicam que “Em toda barragem deve haver descarregadores de vazões excedentes decorrentes das cheias dos rios depois que sua capacidade de armazenamento foi completada, evitando seu transbordamento em locais impróprios”.

Para Reis (2003, p. 62), o vertedouro representa a segurança da barragem, pois tem a função de descarregar as cheias e evitar que a barragem ou qualquer de suas estruturas auxiliares sejam danificadas. Ao mesmo tempo, permite o controle de nível do reservatório, visto que possibilita a passagem direta da água do reservatório para jusante através de suas comportas.

De acordo com Souza, Fuchs e Santos (1983) e Reis (2003), as comportas representam dispositivos de grande importância para controle do reservatório de uma usina, e neste contexto, ter um controle eficiente de comportas de vertedouro se torna imprescindível à segurança da instalação.

2.2 VERTEDOUROS

Souza, Santos e Bortoni (2009, p. 169) definem vertedouro como “uma obra projetada e construída com o objetivo de escoar o excesso da água acumulada pelo reservatório, evitando o risco de o nível da água atingir a crista do reservatório ou barragem”.

De acordo com Porto¹ (1988 apud KOHN, 2006) e (1988 apud RAIMUNDO, 2007) os parâmetros que constituem um vertedouro são:

- a) Crista ou soleira: é a parte superior da parede em que há contato com a lâmina d'água.
- b) Carga hidráulica sobre a soleira (h): é a diferença entre a cota da soleira e o nível de água a montante.
- c) Altura da soleira (P): é a distância entre a cota da soleira e a cota de fundo do reservatório ou canal.
- d) Largura da soleira (L): é a dimensão da soleira através da qual há o escoamento.

A Figura 4 apresenta um desenho dos principais parâmetros que constituem um vertedouro. No desenho é utilizado para ilustrar os elementos, um vertedouro retangular de soleira delgada e com contração lateral cujas características serão explicadas adiante.

¹ PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 1 ed. São Paulo: EESC/USP, 1998.

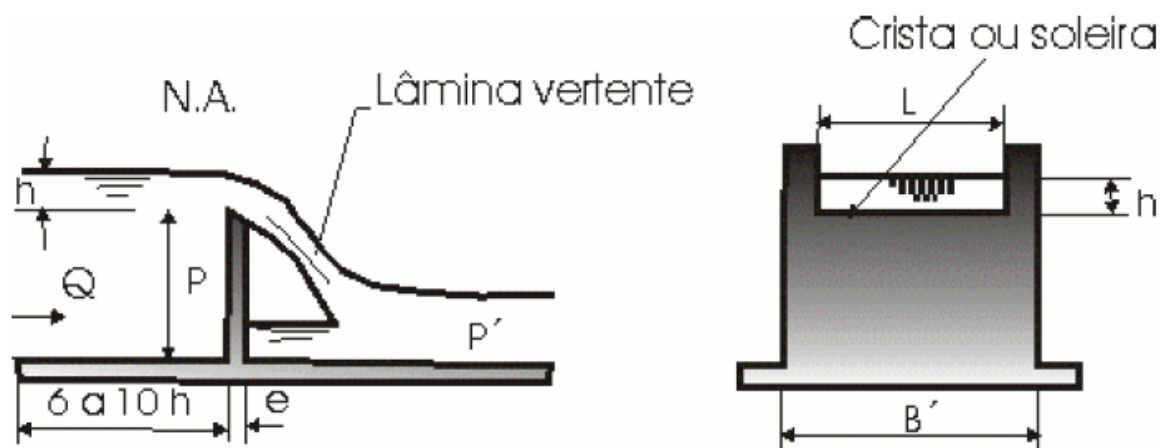


Figura 4 - Principais elementos de um vertedouro
Fonte: Porto apud Kohn. (2006)

De acordo com Delmée (2003), os vertedouros se diferenciam pela forma de sua abertura, já Porto (1988 apud KOHN, 2006) e (1988 apud RAIMUNDO, 2007) estabelece outros critérios de diferenciação além da abertura, classificando-os quanto a:

- a) Forma geométrica da abertura: retangulares, triangulares, circulares, trapezoidais, parabólicos ou com seções compostas.
- b) Altura relativa da soleira: descarga livre ($P > P'$), quando a altura da soleira é maior que o nível d'água de jusante ou descarga afogada ($P < P'$), quando a altura da soleira é menor que o nível d'água de jusante.
- c) Natureza da parede: quando a espessura da parede (e) é delgada ($e < 2/3.h$) e espessa ($e > 2/3.h$).
- d) Comprimento relativo da soleira: sem contração lateral ($L = B'$), quando o comprimento da soleira é igual a largura do canal de aproximação e com contração lateral ($L < B'$), quando o comprimento da soleira é inferior a largura do canal de aproximação.
- e) Natureza da lâmina: lâmina livre, quando a parte inferior da lâmina for arejada de modo que a pressão seja igual à pressão atmosférica. Lamina deprimida quando a pressão abaixo da lâmina for inferior à pressão atmosférica e lâmina aderente quando não há bolsa de ar abaixo da lâmina vertente.
- f) Inclinação do paramento: pode ser inclinado ou vertical.

g) Forma geométrica da crista: retilínea (retangular), poligonal, labirinto, triangular e circular.

Na Figura 5 é apresentado o vertedouro da UHE-GNB que trata-se de um vertedouro retangular de soleira delgada.



Figura 5 - Vertedouro da UHE-GNB
Fonte: Autoria própria

2.3 COMPORTA HIDRÁULICA

“É um dispositivo mecânico usado para controlar vazões hidráulicas em qualquer conduto livre ou forçado e de cuja estrutura o conduto é independente para sua continuidade física e operacional.” (ASSOCIAÇÃO..., 2001, p.1).

2.3.1 Componentes

De acordo com Erbiste (1987) uma comporta compõe-se basicamente de três elementos: tabuleiro, peças fixas e mecanismo de manobra.

O tabuleiro, cujos detalhes são mostrados na Figura 6, é o componente principal da comporta que serve como anteparo à passagem da água e é constituído de paramento e vigeamento. A chapa de revestimento do tabuleiro que fica em contato com água é denominada de paramento. As vedações são os componentes responsáveis pela estanqueidade e são geralmente constituídas de perfis de borracha aparafusadas ao paramento. No tabuleiro são também fixados os elementos de apoio (rodas, roletes, cutelos e outros.) e de guiamento (sapatas, rodas, guias, molas e outros.). (ERBISTE, 1987).

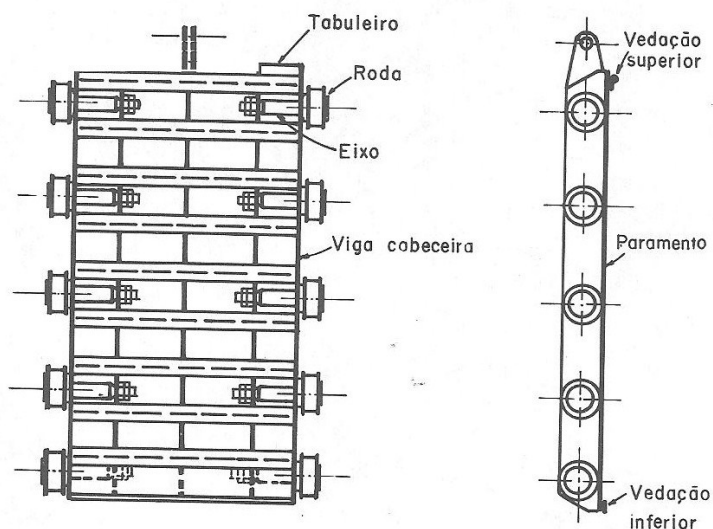


Figura 6 - Componentes do Tabuleiro (comporta vagão)
Fonte: Erbiste (1987)

As peças fixas, cujos detalhes são mostrados na Figura 7, são os componentes que ficam embutidos no concreto e servem para guiar e alojar o tabuleiro, e seus componentes básicos são: soleira, caminho de rolamento ou de deslizamento, guias laterais, contra guias, frontal, apoios de vedação e blindagem das ranhuras. A soleira é o elemento horizontal inferior das peças fixas e serve de apoio do tabuleiro ou da vedação inferior. O caminho de rolamento atua como elemento de apoio e redistribuição das cargas transmitidas pelas rodas ou rolo das comportas. As guias laterais e contra guias limitam os deslocamentos do tabuleiro no plano horizontal. O frontal é um elemento usado somente em comportas de fundo e serve para completar, junto com as guias laterais e soleira, o quadro de passagem da água, absorvendo os esforços correspondentes (ERBISTE, 1987).

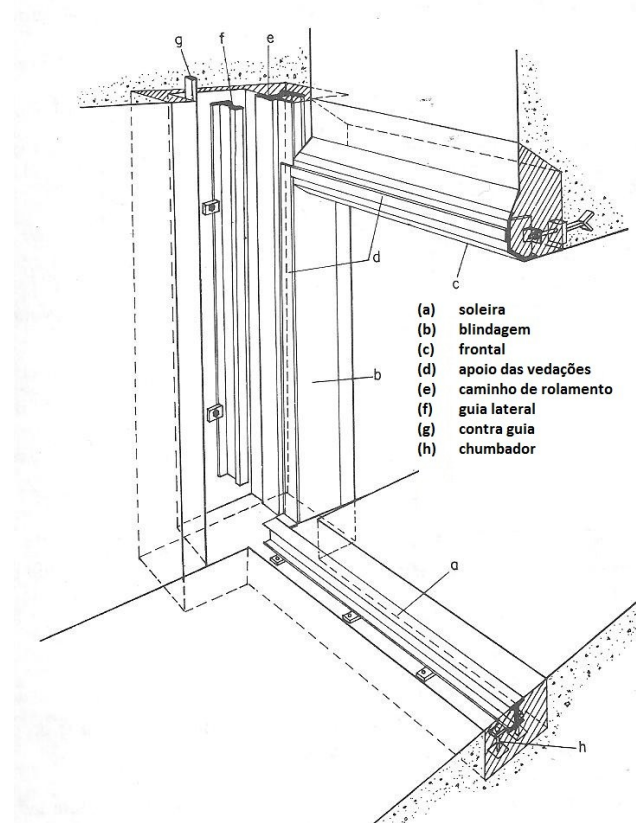


Figura 7 - componentes das peças fixas
Fonte: Erbiste (1987)

2.3.2 Tipos e classificações

Para a NBR 7259 (ASSOCIAÇÃO..., 2001), as comportas são classificadas segundo a sua movimentação em funcionamento, conforme é explicado a seguir:

- a) Comportas de translação: são aquelas que executam um movimento de translação. Podem ser do tipo de deslizamento, quando a estrutura principal se movimenta sem suas guias ou peças fixas, simplesmente vencendo o atrito de deslizamento entre as partes fixas e móveis, ou do tipo de rolamento, quando a estrutura principal se movimenta em suas guias ou peças fixas, vencendo o atrito entre as partes fixas e móveis por meio de rodas ou rolos.
- b) Comportas de rotação: são aquelas que executam um movimento de rotação em torno de um eixo fixo.
- c) Comportas de translo- rotação: são aquelas que executam um movimento de translação e rotação.

Segundo a NBR 7259 (ASSOCIAÇÃO..., 2001), os tipos de comportas são caracterizadas conforme e mostrado na Figura 8.

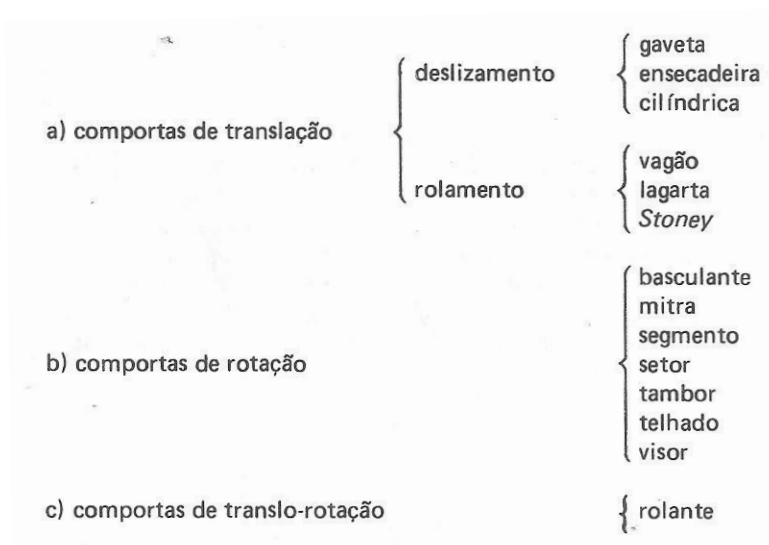


Figura 8 - Tipos de comportas hidráulicas
Fonte: Erbiste (1987)

Ainda segundo Erbiste (1987), as comportas hidráulicas podem ser agrupadas de várias formas de acordo com suas características, obedecendo aos seguintes critérios de classificação: função, movimentação, descarga, composição do tabuleiro, localização e forma do paramento.

2.3.3 Comporta segmento

Este trabalho de pesquisa se propõe a detalhar a comporta do tipo segmento, visto que é este tipo de comporta utilizado no vertedouro da UHE-GNB que está relacionado ao objeto do estudo descrito no capítulo 1. Portanto, as características relacionadas aos demais tipos de comporta não serão abordadas no contexto deste trabalho.

Conforme a NBR 7259 (ASSOCIAÇÃO..., 2001, p. 2), uma comporta segmento é definida como uma “Comporta de rotação com paramento curvo correspondente a um segmento de cilindro com diretriz circular, apresentando braços radiais que transmitem a pressão hidráulica para mancais fixos. O perfil do tabuleiro é um segmento circular”.

Erbiste (1987, p. 67), relata que “A comporta segmento é o tipo de comporta mais econômico e usualmente o mais adequado para vertedouros de grande capacidade, pela simplicidade de funcionamento e manutenção, pequeno peso e por

requerer equipamentos (guinchos ou centrais hidráulicas) de pequena potência para sua movimentação”.

A abertura das comportas é feita por ação do guincho ou central hidráulica que devem ser dimensionados para o peso da parte móvel da comporta e para as forças atrito dos mancais e nas vedações laterais devidas a pressão d'água. O fechamento da feita pelo próprio peso. Para maior segurança do equipamento, normalmente é previsto um sistema de acionamento manual das comportas que permite o seu levantamento no caso de falta de energia (ERBISTE, 1987).

Na Figura 9 são mostrados os principais elementos que caracterizam uma comporta do tipo segmento.

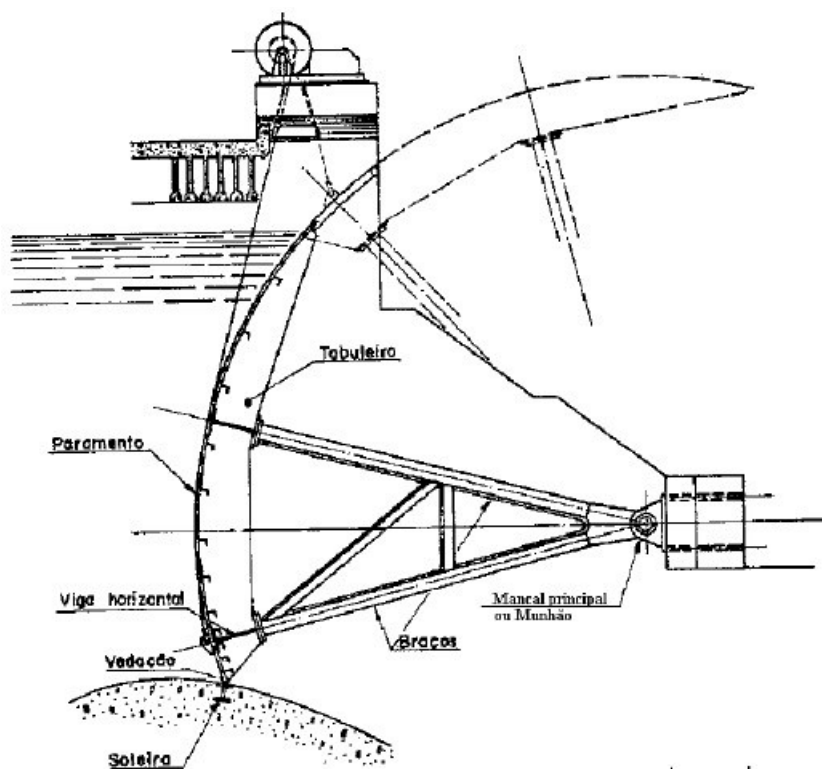


Figura 9 - Comporta segmento
Fonte: ABNT (ASSOCIAÇÃO ...,2001)

2.4 VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NO CONTROLE DE UM VERTEDOIRO

Este trabalho de pesquisa se propõe a estudar as variáveis relacionadas ao tipo de vertedouro retangular, visto que é este tipo de vertedouro relacionado ao objeto do estudo descrito no capítulo 1. Portanto, as variáveis e equações relacionadas aos demais tipos de vertedouro não serão abordadas no contexto deste trabalho.

Na Figura 10 são mostradas as principais dimensões (medidas) que caracterizam um vertedouro do tipo retangular.

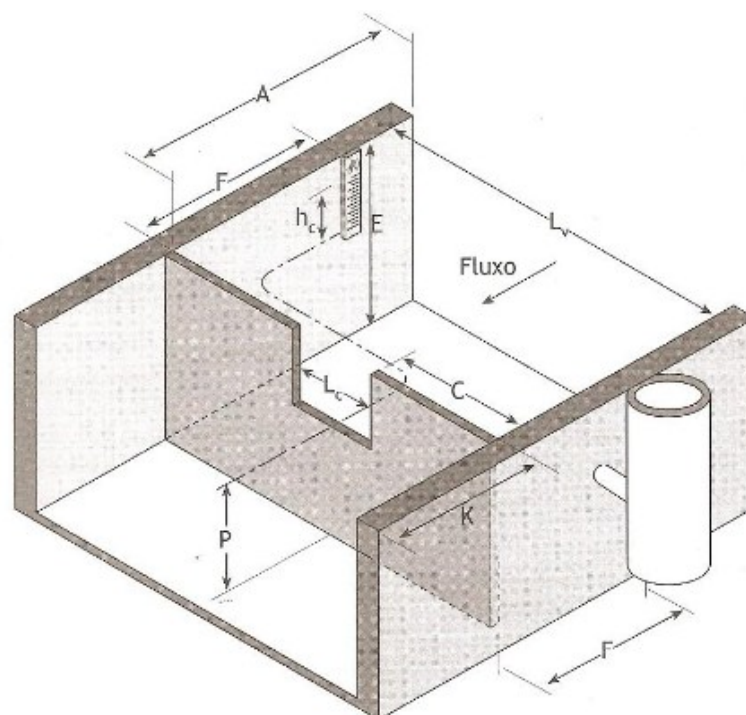


Figura 10 - Vertedouro Retangular - dimensões gerais
Fonte: Delmée (2003)

Onde:

- hc medição de altura no vertedouro
- Lc largura da crista
- A comprimento a montante
- K comprimento a jusante
- Lv largura da caixa
- E profundidade da caixa
- C distância do fim da crista à lateral da caixa
- F distância ao medidor de nível F
- P distância entre a cota da soleira e a cota de fundo do reservatório ou canal

Delmée (2003, p. 260), destaca que “Na forma mais simples de um vertedouro, com entalhe retangular, uma placa vertical é interposta no fluxo de água, obrigando seu nível a subir a montante, até verter a jusante pela abertura, de base horizontal e laterais verticais”.

Desta forma, as variáveis envolvidas em controle de um vertedouro são a altura que é a diferença entre a soleira e a superfície do líquido a montante, e a vazão cujo valor está diretamente relacionado ao valor da altura do vertedouro.

A medição da altura hc no vertedouro pode ser feita através de um transmissor de nível de qualquer tipo (bóia, capacitivo, resistivo, com pressão diferencial, ultra-sônico e outros) que pode ser provido de eletrônica para calcular a equação da vazão e integrar seu valor no tempo, e deve ser instalado a uma distância de três a quatro vezes o valor de altura esperado, de modo a assegurar que a medição de altura não seja afetada pela vazão (DELMÉE, 2003).

Este mesmo autor, também relata que é possível empregar um poço lateral, onde a altura pode ser medida pelo princípio de vasos comunicantes, fazendo-se a ligação entre o canal de aproximação e o poço por pequenos orifícios para assegurar uma medição de nível estável.

Atualmente, como será mostrado na sequência deste estudo, a medição da altura no vertedouro, ou seja, valor de abertura das comportas pode ser medida utilizando-se transdutores angulares do tipo pendular, inclinômetros, régua ótica, sensores magneto-resistivos montados nos cilindros das comportas, entre outros. O tipo de instrumento a ser utilizado dependerá da resolução² requerida na medição e também da possibilidade de instalação adequada no local de medição.

De acordo com Bega et al. (2006) e Delmée (2003) a equação que estabelece a relação entre vazão Q e a altura hc medida é dada por:

$$Q = \frac{2}{3} C' L'c \sqrt{2g} (h'c)^3$$

Onde:

Q vazão em m^3/s , desde que $g = 9,807 \text{ m/s}^2$ e que larguras e níveis sejam em metros.

C' uma função de L_v/L_c e h/P .

$L'c$ $L_c + b$ (em metros).

$h'c$ $hc + 0,009m$.

Os valores de b e de C' podem ser retirados através da análise conjunta dos coeficientes conforme é visto na Figura 11.

² Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida. (INSTITUTO ..., 2003, p. 51).

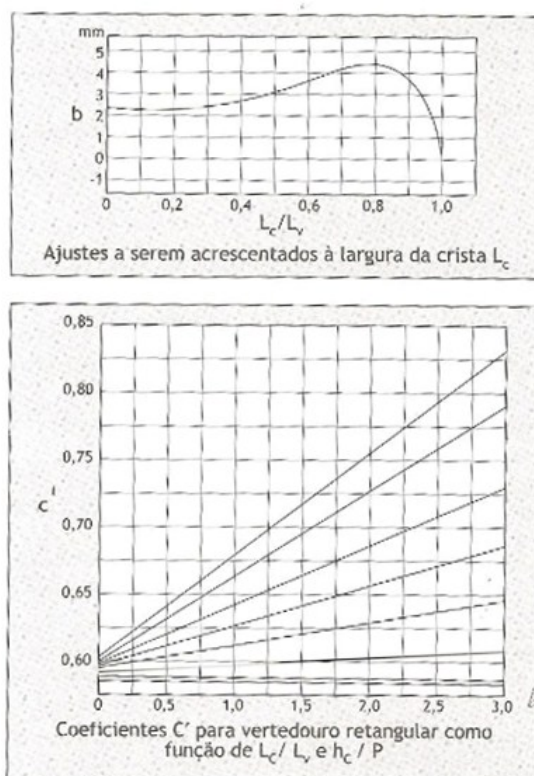


Figura 11 - Valor de b e C' para vertedouros retangulares
Fonte: Delmée (2003)

2.5 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA ABERTA E MALHA FECHADA

Os processos industriais são variados e englobam diversos tipos de produtos que exigem um algum tipo de controle. Em todos estes processos é indispensável controlar e manter constantes as principais variáveis, tais como pressão, nível, vazão, temperatura, pH, condutividade, umidade e outras. (BEGA *et al.*, 2006).

Bega *et al.* (2006) e Ogata (2000), explicam que um sistema de controle em malha aberta é um sistema de controle no qual a saída não tem efeito na ação do controle. Ou seja, neste tipo de sistema não são utilizadas informações sobre evolução do processo para determinar o sinal de controle a ser aplicado. Mais especificamente, a saída não é medida e nem realimentada para a comparação com a entrada visando a compensação das variações que ocorrem nas variáveis do processo e que influenciam na variável controlada.

Na Figura 12 é mostrado um exemplo de um sistema de controle em malha aberta, onde a informação sobre a variável controlada (temperatura do fluido

aquecido na saída do trocador) não é utilizada para ajustar a variável manipulada (vazão do vapor adicionado ao trocador).

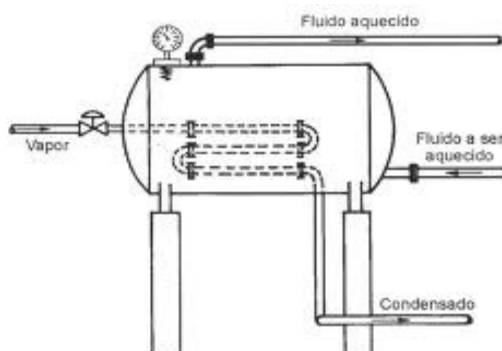


Figura 12 - Exemplo didático de sistema de controle em malha aberta
Fonte: Bega et al. (2006)

Aqueles mesmos autores explicam que um sistema em malha fechada é aquele no qual o sinal de saída possui um efeito direto na ação de controle, ou seja, as informações sobre como a saída de controle está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo. Este sinal de controle é um de erro (desvio) correspondente à diferença entre o sinal de entrada (*setpoint*) e o sinal realimentado da saída.

Na Figura 13 é mostrado um exemplo de um sistema de controle em malha fechada. O exemplo trata de um processo utilizando controle manual, onde um operador através do tato, tem a função de medir a variável controlada (temperatura do fluido aquecido na saída do trocador) e comparar mentalmente com a temperatura desejada (*setpoint*) e com base na diferença entre estes dois valores (erro ou *offset*), o operador deverá atuar na válvula de admissão de vapor fazendo a correção (variável manipulada).

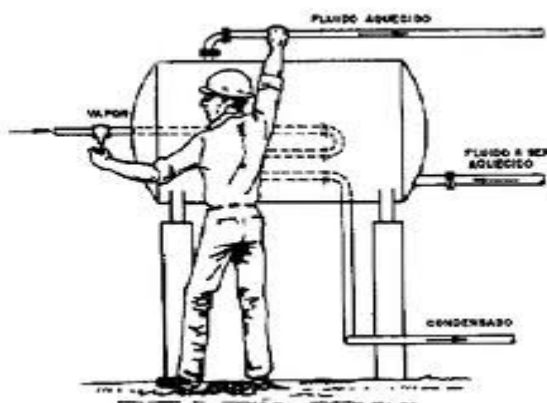


Figura 13 - Exemplo didático de sistema de controle em malha fechada
Fonte: Bega et al. (2006)

2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O Controlador Lógico Programável (CLP) ou PLC do inglês *Programmable Logic Controller* é um equipamento de controle industrial microprocessado, criado inicialmente para efetuar especificamente o controle lógico de variáveis discretas, e atualmente usado pra praticamente todos os tipos de controle (BEGA *et al.*, 2006).

De acordo com Prudente (2011), o CLP foi inventado para substituir os relés de um circuito lógico sequencial ou combinacional para o controle industrial.

O CLP funciona sequencialmente, olhando o estado dos dispositivos ligados às suas entradas (analógicos ou digitais), operando a lógica de seu programa interno e determinando o estado dos dispositivos ligados às suas saídas, seja do tipo analógica ou digital. Na Figura 14 é representada a interface entre o CLP e os dispositivos de entradas e saídas, bem como um pequeno teclado para a programação que comumente é chamado de programador.

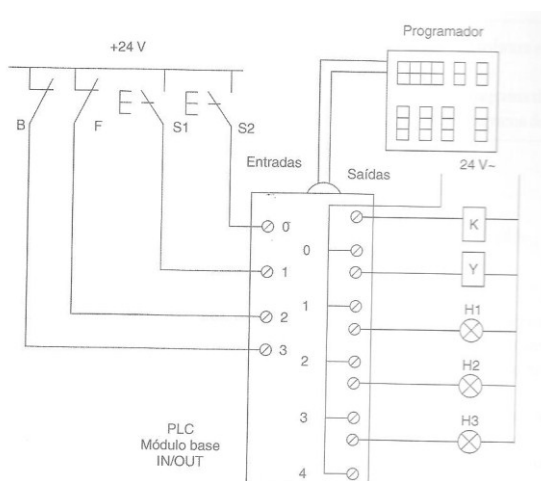


Figura 14 - CLP e os dispositivos de entrada/saída
Fonte: Prudente. (2011)

2.6.1 Estrutura e hardware do CLP

Segundo Prudente (2011), o hardware de um Controlador Lógico Programável é constituído de três componentes fundamentais: unidade central, unidade de entrada/saída I/O e unidade de programação. A Figura 15 ilustra o diagrama de blocos do hardware de CLP.

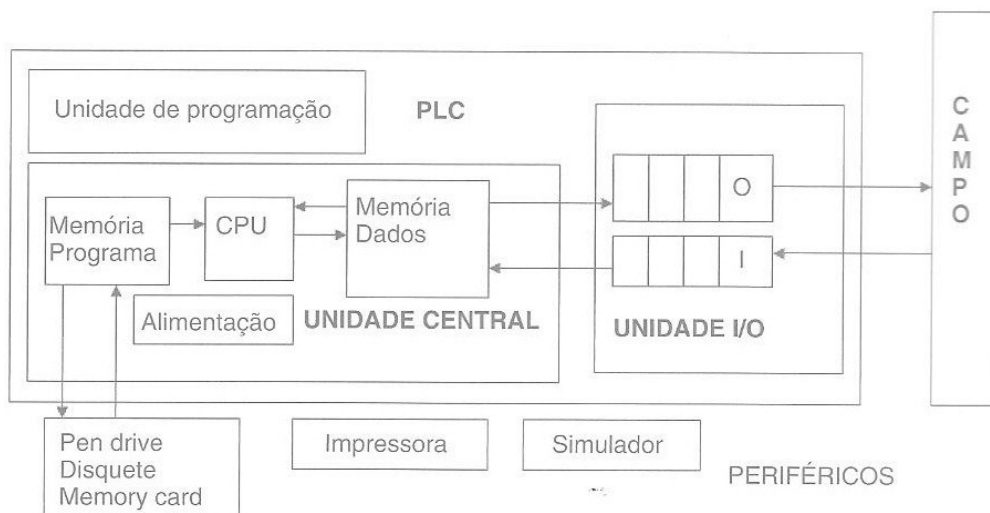


Figura 15 - Diagrama de blocos do hardware de um CLP

Fonte: Prudente. (2011)

A unidade central é a unidade do CLP que organiza todas as funções de controle, e é constituída de três componentes principais: microprocessador, memória e fonte de alimentação (PRUDENTE, 2011).

A unidade de I/O refere-se às iniciais inglesas de *Input* (entrada) e *Output* (saída) e representa a interface entre a unidade central e a máquina ou dispositivo a controlar.

A unidade de programação é a interface entre homem e a máquina, ou seja, é substancialmente, o dispositivo que permite escrever o programa na memória do CLP, e pode ser um computador ou simplesmente um teclado.

Explorando um pouco mais a unidade de I/O, Prudente (2011) e Silveira e Santos (2002) relatam que as principais unidades de entrada/saída presentes no mercado são:

- a) Placa de entrada digital discreta (*on/off*).
- b) Placa de saída digital discreta (*on/off*).
- c) Placa de entrada analógica.
- d) Placa de saída analógica.

As placas de entradas digitais são utilizadas para conectar dispositivos cujo estado podem ser representados em um único bit, como exemplo botões, interruptores de posição, chaves, contatos de relés e outros. (SILVEIRA e SANTOS, 2002).

De acordo com Prudente (2011), as tensões mais comuns para as placas de entradas digitais são:

- a) Em corrente contínua, 12 e 24 V.
- b) Em corrente alterna, 12, 24, 120, 220 V.
- c) Universal, que pode ser utilizada tanto em corrente alternada, como contínua, mas possui um custo relativamente elevado em relação aos anteriores.

As placas de entradas digitais possuem o número de entradas padronizadas e normalmente estão disponíveis com 8, 16 e 32 pontos. Na Figura 16 é ilustrado o aspecto de um módulo de entradas digitais da família 9030 da GEFANUC.



Figura 16 - Módulo de entrada digitais GEFANUC 9030
Fonte: Gefanuc. (2012)

As placas de saídas digitais, são utilizadas para acionar dispositivos cujo estado podem ser representados em um único bit, como exemplo contadores, eletroválvulas, relés, solenoides e outros. (SILVEIRA e SANTOS, 2002).

De acordo com Prudente (2011), da saída digital varia segundo a carga que se deve comandar e os tipos mais comuns são:

- a) Saída a relé para cargas tanto em AC quanto em DC.
- b) Saída a transistor para cargas em DC.
- c) Saída a TRIAC para cargas em AC.

Na Figura 17 é ilustrado o aspecto de um módulo de saídas digitais da família 9030 da GEFANUC.



Figura 17 - Módulo de saídas digitais GEFANUC 9030
Fonte: Gefanuc. (2012)

As placas de entradas analógicas são utilizadas para tratamento de grandezas físicas como, por exemplo, temperatura, pressão, velocidade, aceleração, entre outras. Estas grandezas normalmente são transformadas em grande elétrica por meio de dispositivos chamados de transdutores.(PRUDENTE, 2011).

De acordo com Prudente (2011), os sinais que são conectados as entradas analógicas estão sempre em corrente contínua e os tipos padronizados são:

- a) Em tensão: 0-10 V, 0-5 V, ± 10 V.
- b) Em corrente: 0-20 mA, 4-20 mA.

Na Figura 18 é ilustrado o aspecto de um módulo de entradas analógicas da família 9030 da GEFANUC.



Figura 18 - Módulo de entradas analógicas GEFANUC 9030
Fonte: Gefanuc. (2012)

As placas de saídas analógicas funcionam de maneira contrária as placas de entradas analógicas, ou seja, o CLP envia por meio do opto isolador, um sinal digital a um conversor analógico/digital. Podem ser utilizadas para o controle de válvulas, acionamento de motores, atuadores e outros. (PRUDENTE, 2011).

Segundo Prudente (2011), os sinais disponíveis nas saídas são padronizados e iguais aos que já mencionados nas placas de entradas analógicas.

Na Figura 19 é ilustrado o aspecto de um módulo de saídas analógicas da família 9030 da GEFANUC.



Figura 19 - Módulo de saídas analógicas GEFANUC 9030
Fonte: Gefanuc. (2012)

Segundo Prudente (2011), além dos módulos de entradas e saídas dos tipos digitais e analógicos, também é fabricado uma série de módulos para aplicação particular de modo a atender as exigências da automação. Estes módulos especiais são dotados de microprocessador próprio e as vantagens desses módulos são:

- a) Liberar a CPU da carga do processamento destas tarefas especiais, de modo que a CPU trabalhe somente com a operação fundamental de controle.
- b) Possibilidade de oferecer aplicação com velocidade de resposta muito elevada.

Dentre estes módulos especiais podemos citar: módulo para termopares, módulo de contagem veloz, módulo de controle de eixo, módulo *ASCII*, módulo de comunicação, módulo *PID*, modulo (I/O) remoto.

2.6.2 Linguagens de programação

Com o propósito de estabelecer um padrão do modo pelo qual os softwares de programação pudessem processar seus comandos, manipular suas variáveis e sua própria estrutura de apresentação, foi criado um comitê internacional organizado para promover e criar a norma internacional IEC 61131. Silveira e Santos (2002).

Tal norma refere-se ao desenvolvimento de recursos de programação para os dispositivos de controladores programáveis dentro de um sistema de automação industrial.

Segundo Silveira e Santos (2002), a norma IEC 61131 é dividida em 5 partes:

- a) IEC 61131-1 - Informações gerais;
- b) IEC 61131-2 - Requisitos de hardware;
- c) IEC 61131-3 - Linguagens de programação;
- d) IEC 61131-4 - Guia de orientação ao usuário;
- e) IEC 61131-5 – Comunicação.

Outras três partes estão em fase de elaboração:

- a) IEC 61131-6 - Comunicação via *Fieldbus*;
- b) IEC 61131-7 - Programação utilizando Lógica *Fuzzy*;
- c) IEC 61131-8 - Guia para implementação das linguagens.

Neste trabalho será abordada somente a norma IEC 61131-3 que trata das linguagens de programação de controladores industriais.

De acordo com Prudente (2011) e Silveira e Santos (2002), a norma IEC 61131-3 reconhece dois grandes grupos que representam o tipo de linguagem utilizada, cada qual contendo um conjunto de linguagens. São eles:

Linguagens Textuais:

- a) Lista de Instruções (*IL - Instruction List*);
- b) Texto Estruturado (*ST - Structured Text*).

Linguagens gráficas:

- a) Gráfico de Funções Sequenciais (*SFC - Sequential Function Chart*);
- b) Diagramas de Contatos (*LD - Ladder Diagram*);
- c) Diagramas de Blocos de Funções (*FBD - Function Block Diagram*).

A lista de Instruções (*IL*) é uma linguagem textual, de baixo nível, com estrutura semelhante ao *Assembler*, ou seja, uma linguagem que lembra as instruções do microcomputador e por este motivo é pouco intuitiva e pouca prática e requer muito tempo do programador para a pesquisa de falhas no programa. Prudente (2011).

Na Figura 20 é ilustrado um exemplo de programa escrito na linguagem *IL*.

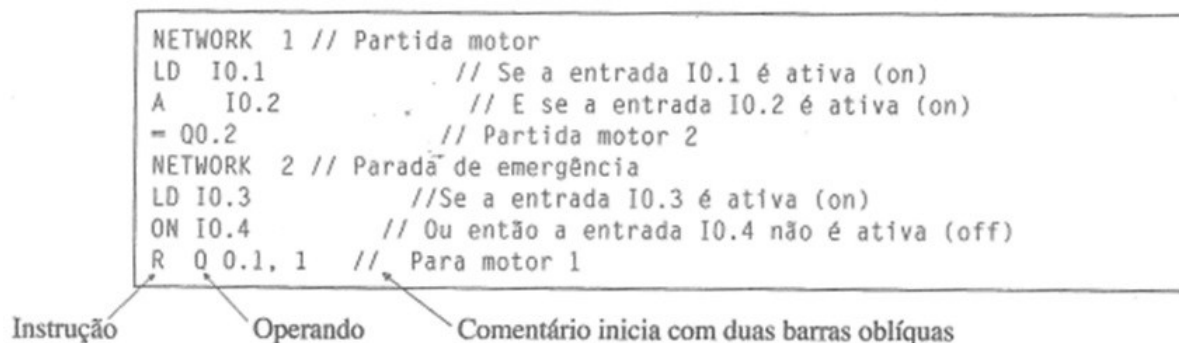


Figura 20 - Exemplo de programa escrito na linguagem IL
Fonte: Prudente. (2011)

A lista de Instruções (*ST*) é uma linguagem de alto nível, estruturada em blocos e semelhante às linguagens de programação como Pascal, Basic e C++, devido a este fato, trata-se da linguagem de programação mais potente para o CLP visto que oferece mais possibilidades para a programação quando comparada as demais linguagens da norma IEC 61131-3. Prudente (2011).

Na Figura 21 é ilustrado um exemplo de programa escrito na linguagem *ST*.

```

10 IF I0.0=I0.1 // Se a entrada I0.0 é igual a entrada I0.1
20 THEN SET Q0.0 // Ativa (on) a saída Q0.0
30 ELSE RES Q0.0 // Se não desativa (off) a saída Q0.0
40 GOTO 10 // Salta a instrução 10

```

Figura 21 - Exemplo de programa escrito na linguagem ST
Fonte: Prudente. (2011)

A linguagem *ladder* é uma linguagem gráfica que deriva do inglês que significa escada, pelo formato particular da sua representação, e de todas as linguagens conhecidas, é a mais empregada no campo internacional para a programação do CLP, pois seus elementos gráficos se assemelham aos encontrados em diagramas e esquemas elétricos. Prudente (2011).

Segundo Prudente (2011), o esquema *ladder* é composto:

- Barra de alimentação (linha vertical esquerda) que comanda todos os elementos de *input*.
- Retorno comum ou massa (linha vertical direita) que conecta todas as variáveis de saída (*output*).
- Zona de teste (ou zona de *input*) onde são programadas as lógicas de intertravamento segundo a lógica de evolução do processo.
- Zona de ação (ou zona de *output*) destinada à variável de saída.

Na Figura 22 é ilustrado o esquema dos componentes de programa escrito na linguagem *ladder*.

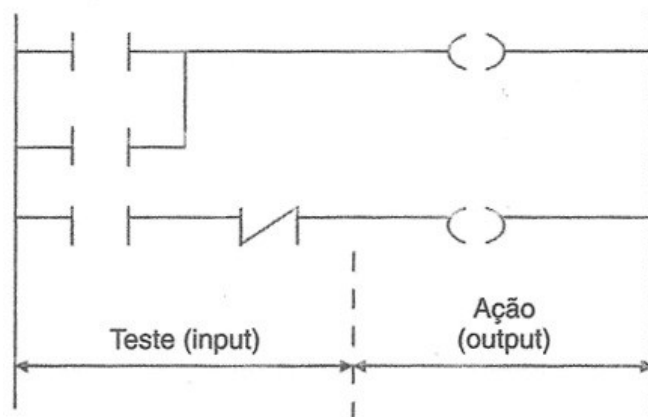


Figura 22 - Esquema dos componentes de programa na linguagem ladder
Fonte: Prudente. (2011)

Na Figura 23 é ilustrado um exemplo de programa escrito na linguagem *ladder*.

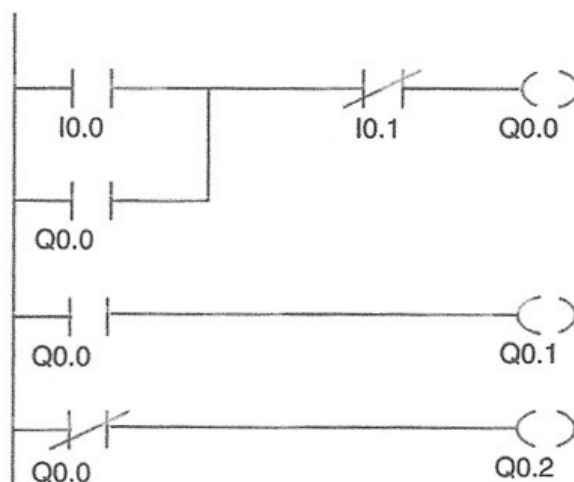


Figura 23 - Exemplo de programa escrito na linguagem ladder
Fonte: Prudente. (2011)

A linguagem diagrama de bloco de Funções ou *FBD* do inglês *Function Block Diagram* é uma linguagem gráfica composta de uma série de símbolos gráficos clássicos da lógica combinatória (*and*, *or*, *xor* e outros). Essa linguagem é mais comumente utilizada por técnicos com experiência em eletrônica digital devido a sua similaridade com esta. Prudente (2011).

A Figura 24 ilustra o aspecto de um bloco funcional.

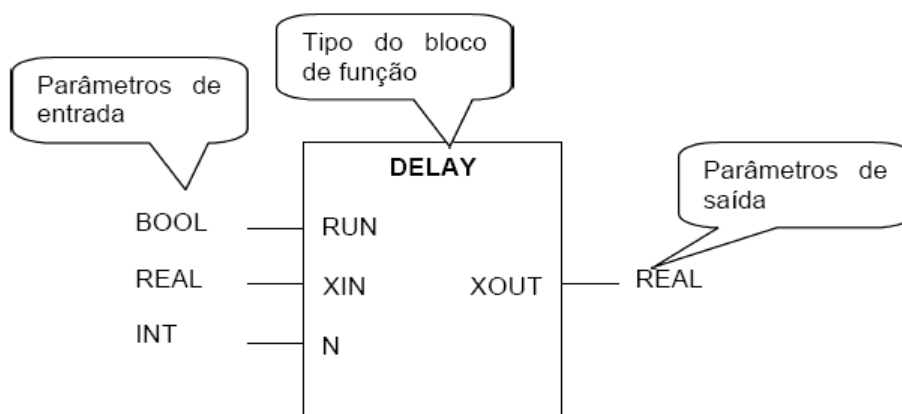


Figura 24 - Aspecto de um bloco de função
Fonte: Autoria própria adaptado de Silveira e Santos (2002)

A adição de blocos funcionais dentro de um diagrama *ladder* é muito utilizada quando se tem trechos mesclados de lógica sequencial e combinacional, a qual o *ladder* só permitiria resolver com programas muito extensos.

Na Figura 25 é ilustrado um exemplo de programa escrito na linguagem *FBD*.

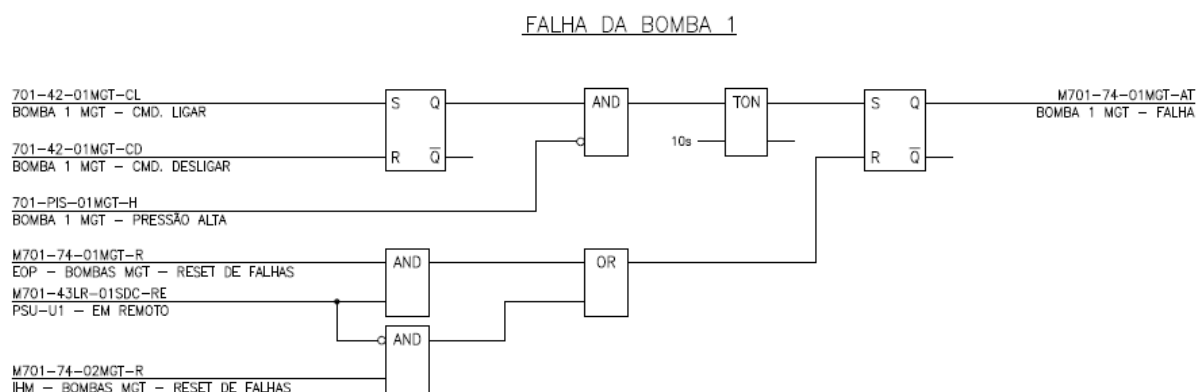


Figura 25 - Exemplo de programa escrito na linguagem FBD
Fonte: Autoria própria

A linguagem gráfica *SFC* (*Sequential Function Chart*) que significa sequenciamento gráfico de funções, nasceu na França em 1977 e é comumente chamada de *GRAF CET*. A representação gráfica foi construída recorrendo-se aos

diagramas funcionais e respeitando-se algumas regras internacionais descritas na norma IEC 60848. Prudente (2011).

De forma resumida, Prudente (2011). Explica que um diagrama SFC é constituído do conjunto de passos e transições, ou seja, um processo industrial pode ser decomposto em certo um número de passos ou fases. Cada passo corresponde a uma certa operação ou ação dentro de um processo industrial. A passagem de um passo para outro é chamada de transição e se verifica somente quando certas condições são satisfeitas.

Na Figura 26 é ilustrado um exemplo de programa escrito na linguagem SFC.

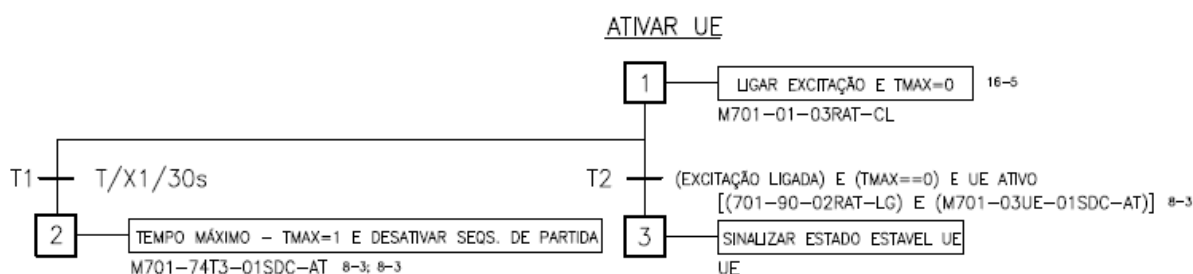


Figura 26 - Exemplo de programa escrito na linguagem SFC
Fonte: Autoria própria

2.7 SISTEMAS DE SUPERVISÃO SCADA

Para Daneels e Salter (2012), sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) são sistemas supervisórios para o controle e aquisição de dados. É um pacote de software que é exclusivamente posicionado no nível mais alto do hardware ao qual é ligado, em geral através de CLPs ou outros módulos de hardware comerciais.

Segundo Silva e Salvador (2012), os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais (ex: temperatura, nível, vazão, pressão e outros), efetuando coleta de dados em ambientes complexos, que podem estar geograficamente dispersos.

Os sistemas SCADA permitem a verificação de condições de alarme para os dados coletados no processo, os quais são identificados através de etiquetas comumente chamadas de *tags*, que podem ser previamente configurados para uma determinada faixa de operação ou condição pré-estabelecida, sendo possível a

gravação de registros em banco de dados, ativação de alarme sonoro, mudanças de cores, além de envio de mensagens por celular, *email*, *tablets*, *paggers*, entre outros.

2.7.1 Arquitetura de *hardware*

Daneels e Salter (2012), em uma análise sobre a arquitetura de hardware de SCADA, explicam que no sistema SCADA distinguem-se duas camadas básicas, a camada do cliente, que serve para a interação homem-máquina e da camada de servidor de dados, que manipula a maioria das atividades de controle e processamento de dados.

O servidor de dados se comunica com os dispositivos no campo através de controladores de processo, como por exemplo CLPs, quer diretamente ou através de redes de chão de fábrica (*Fieldbus*, *Profibus* e outros). Os servidores de dados são ligados uns aos outros e as estações cliente através protocolos proprietários ou através de um protocolo conhecido via rede *Ethernet TCP/IP*. A Figura 27 mostra a arquitetura típica de hardware de um SCADA.

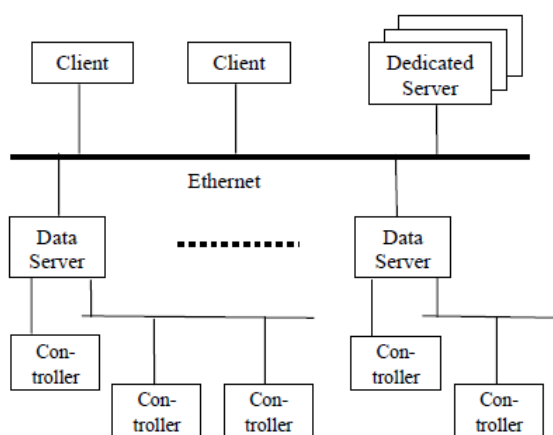


Figura 27 - Arquitetura típica de hardware de um SCADA
Fonte: Daneels e Salter (2012)

2.7.2 Arquitetura de *software*

Silva e Salvador (2012), bem como Daneels e Salter (2012), descrevem as principais características da arquitetura de software de um SCADA, esclarecendo que são sistemas multitarefas e possuem uma base de dados de tempo real que está localizada em um ou mais servidores que são responsáveis pela aquisição e tratamento de dados (gerenciamento de varredura dos controladores, gerenciamento de alarme, cálculos, registro e arquivamento). No entanto, alguns sistemas ainda

permitem ter servidores dedicados para funções específicas em função da sua complexidade ou por critérios de desempenho. A Figura 28 ilustra a arquitetura típica de um software de um SCADA.

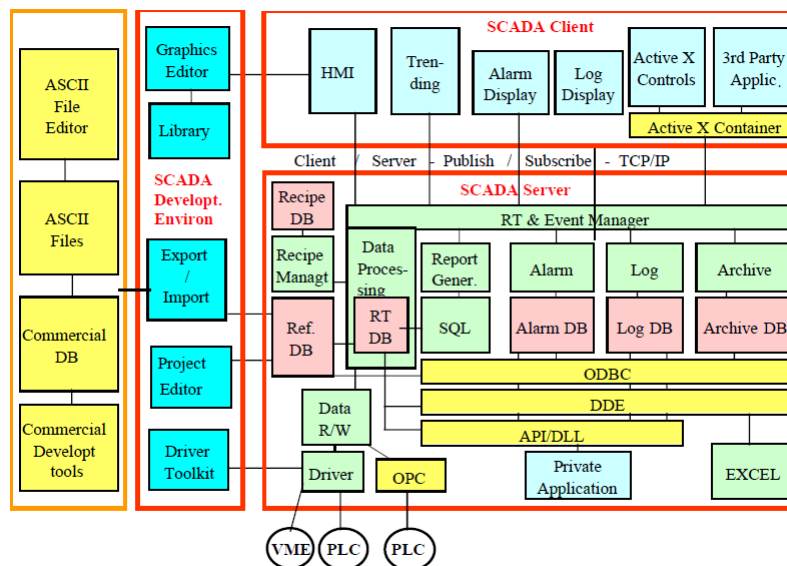


Figura 28 - Arquitetura típica de um software de um SCADA
Fonte: Daneels e Salter (2012)

2.7.3 Características e funcionalidades

De acordo com as publicações de Silva e Salvador (2012) e de Daneels e Salter (2012), as principais características e funcionalidades de um sistema SCADA são:

- Comunicação:** A comunicação entre cliente-servidor e servidor-servidor é, em geral, sobre uma assinatura pública e com base em eventos dirigidos, e utiliza um protocolo *TCP / IP*. Os servidores de dados requisitam os dados de processo dos controladores, através de taxas de varreduras previamente definidas. Os sistemas SCADA proveem *drivers* de comunicação para a maioria dos CLPs e protocolos industriais, sendo que um simples servidor de dados pode suportar múltiplos protocolos de comunicação.
- Base de dados:** Os dados de configuração são armazenados numa base de dados que é logicamente centralizada, mas fisicamente distribuídos e que geralmente é de um formato proprietário. Por motivos de desempenho, a base de dados de tempo real reside na memória dos servidores e também é de formato proprietário. O formato do arquivo de

armazenamento de dados históricos e eventos é geralmente proprietário por razões de desempenho, mas alguns produtos dão suporte de registro para um banco de dados relacional em um ritmo mais lento ou diretamente ou através de uma interface *ODBC* (*Open Database Connectivity*).

- c) Escalabilidade: Pode ser entendida como a possibilidade de expandir o sistema *SCADA*, pela adição de variáveis de processo, servidores dedicados (por exemplo, para tratamento de alarmes) ou mais clientes. Os sistemas que possuem e implementam a escalabilidade, são aqueles que se caracterizam por ter vários servidores de dados ligados aos vários controladores, de modo que cada servidor de dados tem a sua própria base de dados de configuração e base de dados de tempo real, e é responsável pelo tratamento de um subconjunto de variáveis do processo (aquisição de tratamento de alarmes, arquivamento, entre outros.).
- d) Redundância: É um mecanismo que alguns *SCADAs* implementam a nível de *hardware* e *software*, de modo que, em situação de falha dos servidores, as estações clientes tenham seu tráfego automaticamente redirecionado para o novo servidor ativo.
- e) Controle de acesso: É uma característica que permite aos usuários do sistema serem distribuídos em grupos, os quais definem privilégios de acesso (leitura/escrita) de parâmetros e ou funcionalidades do sistema.
- f) Interface homem-máquina: Comumente chamadas de IHM (Interface homem-máquina), suportam múltiplas telas que contêm combinações de diagramas sinóticos e texto, devidamente conectados às variáveis de processo. É através da IHM que as informações processadas pelo *SCADA* são exteriorizadas ao usuário e também representam meio de interação do usuário com o processo. A Figura 29 ilustra a tela de uma IHM.

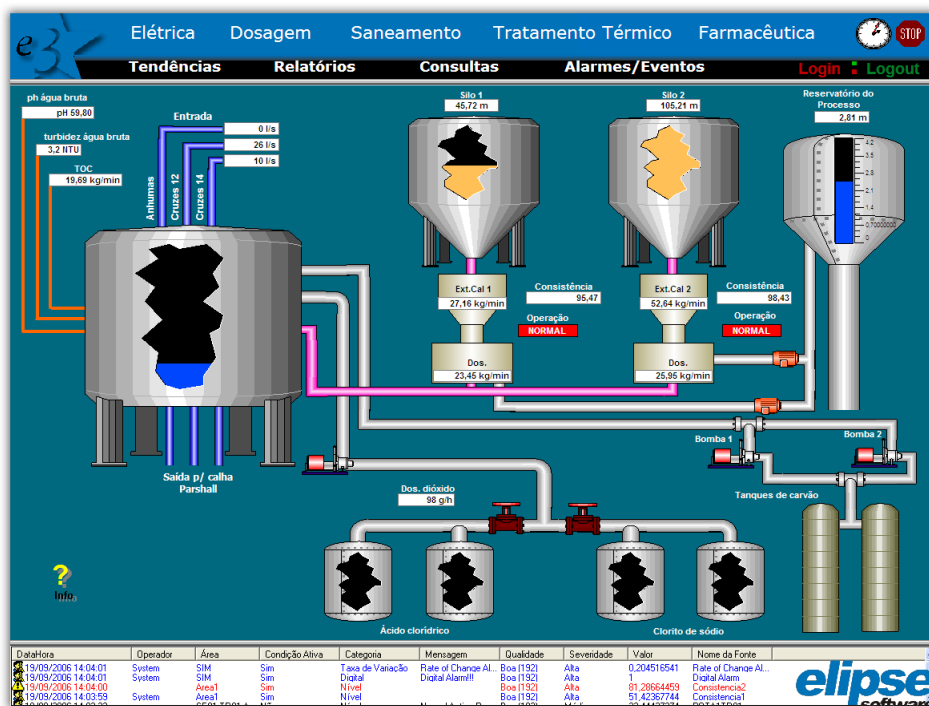


Figura 29 - Exemplo de Tela de IHM
Fonte: Autoria própria Elipse Software

- g) Gráfico de tendências: Na Figura 30 é ilustrado o gráfico de tendências que são recursos os quais permitem que sejam monitoradas através de gráficos, variáveis em tempo real ou dados históricos armazenados.

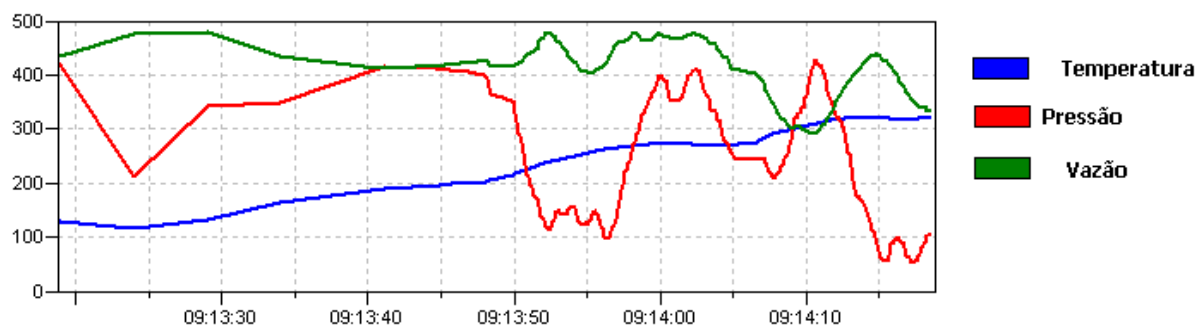


Figura 30 - Gráfico de tendências
Fonte: Autoria própria Elipse Software

- h) Gerenciamento de Alarmes:

O tratamento de alarmes é baseado na verificação de limite (variáveis analógicas) e do estado (variáveis binárias) e é realizada nos servidores de dados e geralmente são utilizados para identificar condições adversas na planta. A Figura 31 ilustra uma tela de alarmes.

Tipo		Área	Ordenação 1	Ordenação 1	Prioridade	Total Ativos
Alarmes		Todas	InTime		<input checked="" type="checkbox"/> Alta <input checked="" type="checkbox"/> Med <input checked="" type="checkbox"/> Baixa	20
DataHora (Entrada)	Área	Condição	Severidade	Mensagem	Operador	Valor
27/02/2012 21:38:03	SIM	Nivel	Alta	Analog Alarm HI-HI	System	99,96905211
27/02/2012 21:38:00	SIM	Digital	Alta	Digital Alarm!!!!	System	1
27/02/2012 21:37:59	FIC118A	Nivel	Média	Lo Alarm on FIC118A		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI202	Nivel	Média	Lo Alarm on TI202		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI214	Nivel	Média	Lo Alarm on TI214		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI201	Nivel	Média	Lo Alarm on TI201		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI207	Nivel	Média	Lo Alarm on TI207		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI208	Nivel	Média	Lo Alarm on TI208		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI212	Nivel	Média	Lo Alarm on TI212		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	TI213	Nivel	Média	Lo Alarm on TI213		14,67521706
27/02/2012 21:37:59	LIC300	Nivel	Média	Lo Alarm on LIC300		14,67521706
27/02/2012 21:37:56	TI215	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on TI215		132,0880138
27/02/2012 21:37:53	TIC114	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on TIC114		130,9627781
27/02/2012 21:37:53	PI301	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on PI301		130,9627781
27/02/2012 21:37:53	PI206	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on PI206		130,9627781
27/02/2012 21:37:53	TIC111	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on TIC111		130,9627781
27/02/2012 21:37:49	PICP2	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on PICP2		131,8145801
27/02/2012 21:37:49	PICP110	Nivel	Alta	HI-HI Alarm on PICP110		131,8145801
27/02/2012 21:37:28	FIC130	Nivel	Média	Normalized Measurement on FIC130		117,8857781
27/02/2012 21:37:18	FIC107	Nivel	Média	Normalized Measurement on FIC107		16,35344305
27/02/2012 21:37:18	PICP1	Nivel	Média	Normalized Measurement on PICP1		16,35344305
27/02/2012 21:37:18	PICP3	Nivel	Média	Normalized Measurement on PICP3		16,35344305
27/02/2012 21:37:16	LIC301	Nivel	Média	Normalized Measurement on LIC301		16,1010923
27/02/2012 21:37:16	PICV6	Nivel	Média	Normalized Measurement on PICV6		16,1010923
27/02/2012 21:37:08	SIM	Deadband	Alta	DeadBand Alarm/ Banda Morta	System	99,84339198
27/02/2012 21:36:48	SIM	RateOfChange	Alta	Rate of Change Alarm	System	94,66386318

Figura 31 - Tela de Alarmes
Fonte: Autoria própria Elipse Software

- i) Registro e Arquivamento: Os termos de registro (*logging*) e arquivamento (*archiving*) são frequentemente usados para descrever a mesma característica. No entanto, o registro pode ser pensado como de armazenamento de dados no disco em médio prazo, e o arquivamento é o armazenamento de dados de longo prazo, quer seja em disco ou em outro meio de armazenamento permanente. Os registros são tipicamente realizados de uma maneira cíclica, uma vez atingido um determinado tamanho de arquivo, período de tempo ou número de pontos, os dados são substituídos.
- j) Ambiente de desenvolvimento: Consiste no conjunto de ferramentas onde é desenvolvido e configurado o SCADA. Neste ambiente é configurada a base de dados do sistema, a arquitetura de hardware, as bibliotecas de objetos, gráficos de tendências, controle de acesso, alarmes, *drivers* de comunicação, bem como o desenvolvimento de *scripts*, sinóticos, entre outros. Na Figura 32 é ilustrada o ambiente de desenvolvimento de um SCADA.

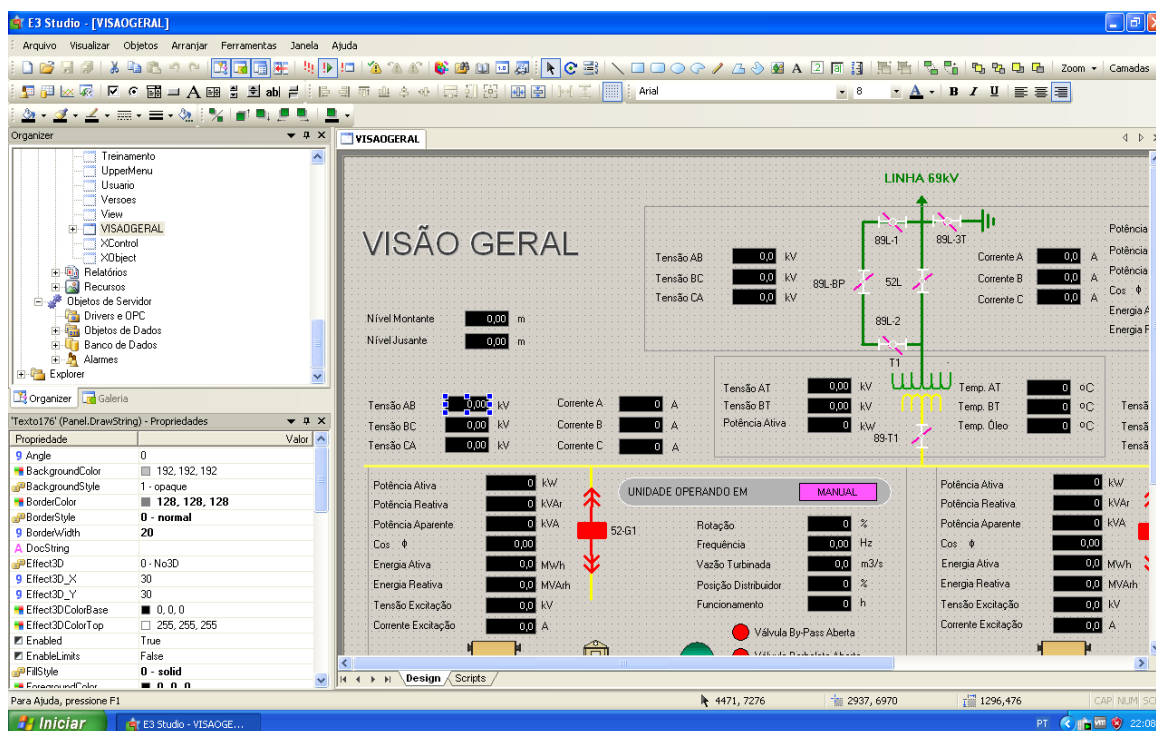


Figura 32 - Ambiente de desenvolvimento
Fonte: Autoria própria Elipse Software

2.8 SOLUÇÕES PARA CONTROLE DE VERTEDOUROS EXISTENTES

Nesta seção serão mostradas duas soluções existentes no mercado, uma da empresa Hytronic e a outra da empresa Rexroth, sendo ambas utilizadas para o controle de comportas de vertedouros

A primeira solução a ser apresentada, conforme é mostrada na Figura 33, é comercializada pela empresa Hytronic.

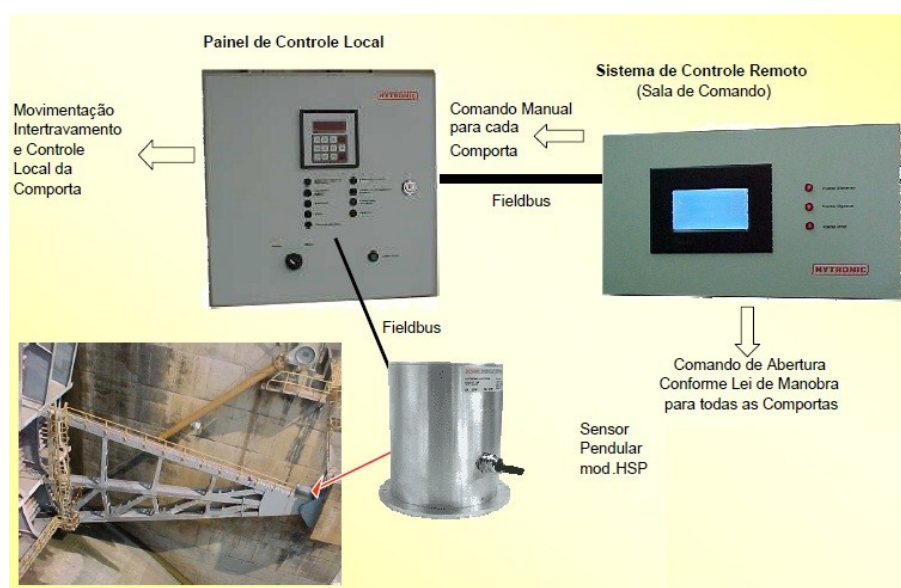


Figura 33 - Automatismo de movimentação comportas de vertedouro
Fonte: Hytronic (2012)

O sistema basicamente funciona da seguinte forma: através de IHM instalada na sala de comando são executados os comandos para uma determinada comporta que são transferidos através de uma rede industrial *fieldbus* ao painel de controle local que possui um controlador dedicado. Este controlador possui a lógica de controle das comportas, os parâmetros de configuração, recebe a realimentação da posição da comporta através de transdutor angular, e também faz a conexão com a central hidráulica da comporta.

O detalhe desta aplicação é o fato do controlador ser dedicado, ou seja, é específico para o controle de comportas e caso haja a necessidade de implementar qualquer outra lógica de controle deverá ser previsto um outro equipamento.

Outra solução utilizada para a medição e controle de comportas é comercializada pela empresa Rexroth que pertence ao grupo Bosh e se trata de um cilindro hidráulico com característica construtiva especial que é utilizado para a movimentação da comporta.

Este sistema, conforme Figura 34, é conhecido como *CIMS (Ceramax Integrated Measuring System)* e trata-se de um dispositivo de medição da posição do cilindro.

O funcionamento do *CIMS* consiste basicamente no princípio de um campo magnético que é criado e moldado entre um magneto permanente e as ranhuras na haste do pistão. Duas meias pontes de elementos magneto-resistivas, localizados neste campo magnético, produzem sinais de seno e cosseno que são a entrada para um *resolver* seguidor de fase que geram pulsos de contagem incrementais. Para transmissão em longa distância estes pulsos são convertidos em RS422A.

No sistema de medição *CIMS*, 1024 pulsos são gerados a cada centímetro, sendo que estes pulsos podem ser convertidos para um sinal de 0-10 V, 0-20 mA e 4-20 mA, o que permite uma precisão a 0,03% do curso total do cilindro.

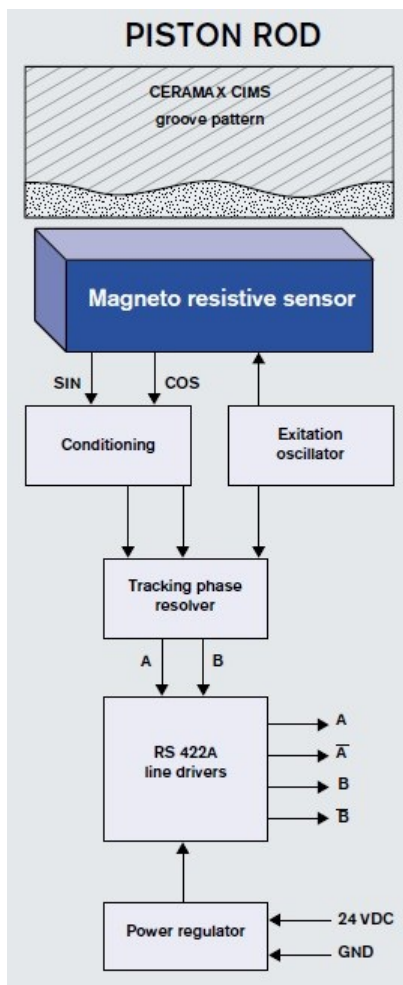


Figura 34 - CIMS (Ceramax Integrated Measuring System)
Fonte: Rexroth (2012)

Na Figura 35 é ilustrada a aplicação do CIMS na medição de abertura das comportas do vertedouro da Usina Governador José Richa.



Figura 35 - Cilindro com a tecnologia Ceramax (UHE GJR)
Fonte: Autoria própria

Na Figura 36 é mostrado o detalhe da instalação do CIMS no cilindro da comporta do vertedouro.

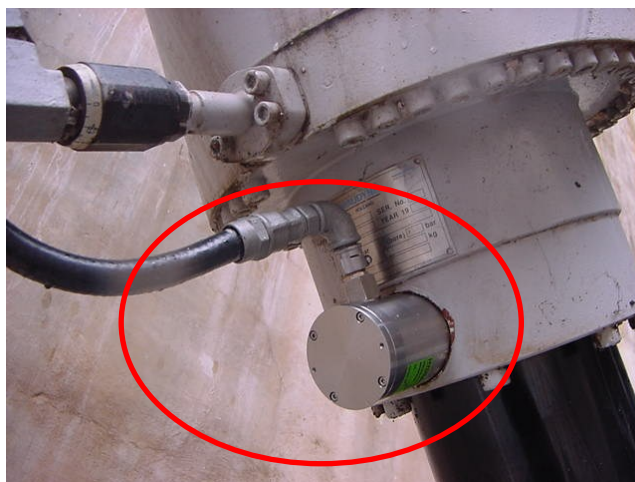


Figura 36 – Detalhe da instalação da medição no Cilindro (UHE GJR)
Fonte: Autoria própria

O detalhe desta aplicação é que os cilindros já devem ser construídos com esta tecnologia, o que torna de certa forma, dificulta a aplicação em plantas já existentes.

3 PROPOSTA DE MELHORIA NO CONTROLE DAS COMPORTAS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos que propiciaram a elaboração de uma proposta de melhoria no controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB.

As etapas que constituíram a pesquisa podem ser observadas na Figura 37 a seguir.

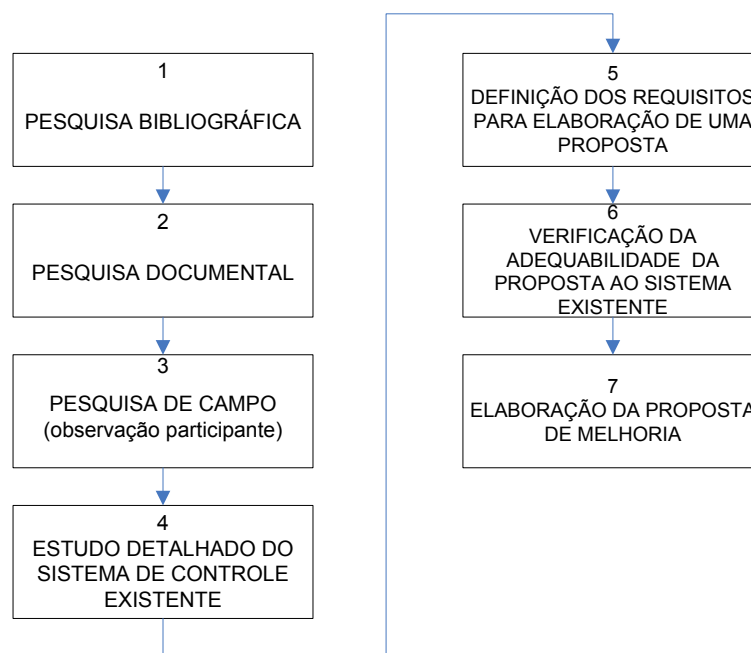


Figura 37 - Diagrama das etapas de pesquisa
Fonte: Autoria própria

O método de pesquisa adotado foi dividido em sete etapas, na etapa 1 foi realizada uma pesquisa bibliografia sobre usinas hidrelétricas, abordando principalmente uma visão macro da instalação e seus principais componentes, os sistemas de controle em malha aberta e fechada, os vertedouros, os controladores lógicos programáveis, sistemas supervisórios e algumas soluções utilizadas para controle de vertedouros. Após este levantamento, na etapa 2, foi realizada uma pesquisa documental sobre as normas operativas e procedimentos operacionais aplicados ao controle de vertedouros. Na etapa 3 foi realizada uma pesquisa de campo, com técnica de observação participante, cujo objetivo é identificar junto aos usuários as necessidades e as melhorias esperadas. No momento seguinte, etapa 4, foi realizado um estudo detalhado do sistema de controle existente. Na etapa 5, é feita a definição dos requisitos para delinear a proposta de melhoria, na etapa 6 foi

verificada a adequabilidade da proposta ao sistema existente, ou seja, nesta etapa foi feita a consistência dos requisitos frente à instalação existente. Por fim, a etapa 7, alinhado ao objetivo estabelecido foi desenvolvida uma proposta de melhoria no controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB.

3.1 ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO

A arquitetura proposta para o sistema leva em conta que esta deverá estar perfeitamente integrada ao sistema supervisório SCADA , seu hardware associado, painéis de controle das comportas, bem como as centrais oleodinâmicas³, visto que somente o controle das comportas do vertedouro será substituído.

Para melhor descrever a arquitetura proposta esta foi dividida em três níveis:

- a) Nível 0, corresponde ao CLP e uma IHM (Interface Homem Máquina), cuja função será a supervisão e o controle da central oleodinâmica das comportas. Também fará parte deste nível o transdutor angular que indicará o valor de abertura da comporta.
- b) Nível 1, corresponde a UTR (Unidade Terminal Remota) que representa o equipamento existente cuja função é executar a interface entre o sistema supervisório e o nível 0.
- c) Nível 2, corresponde ao sistema supervisório SCADA já existente, cuja função é prover a interação entre o operador e o processo.

Esta divisão se tornou necessária, visto que para a efetiva implantação desta proposta todos estes níveis deverão sofrer adequações.

³ Central Oleodinâmica é um conjunto de pressostatos, válvulas e motobomba, responsável pelo acionamento e proteção do cilindro hidráulico da comporta.

Na figura 38 é ilustrada a arquitetura proposta para o sistema de controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB, nesta figura também está destacado em vermelho a parte do sistema existente e em verde os componentes que serão acrescentados.

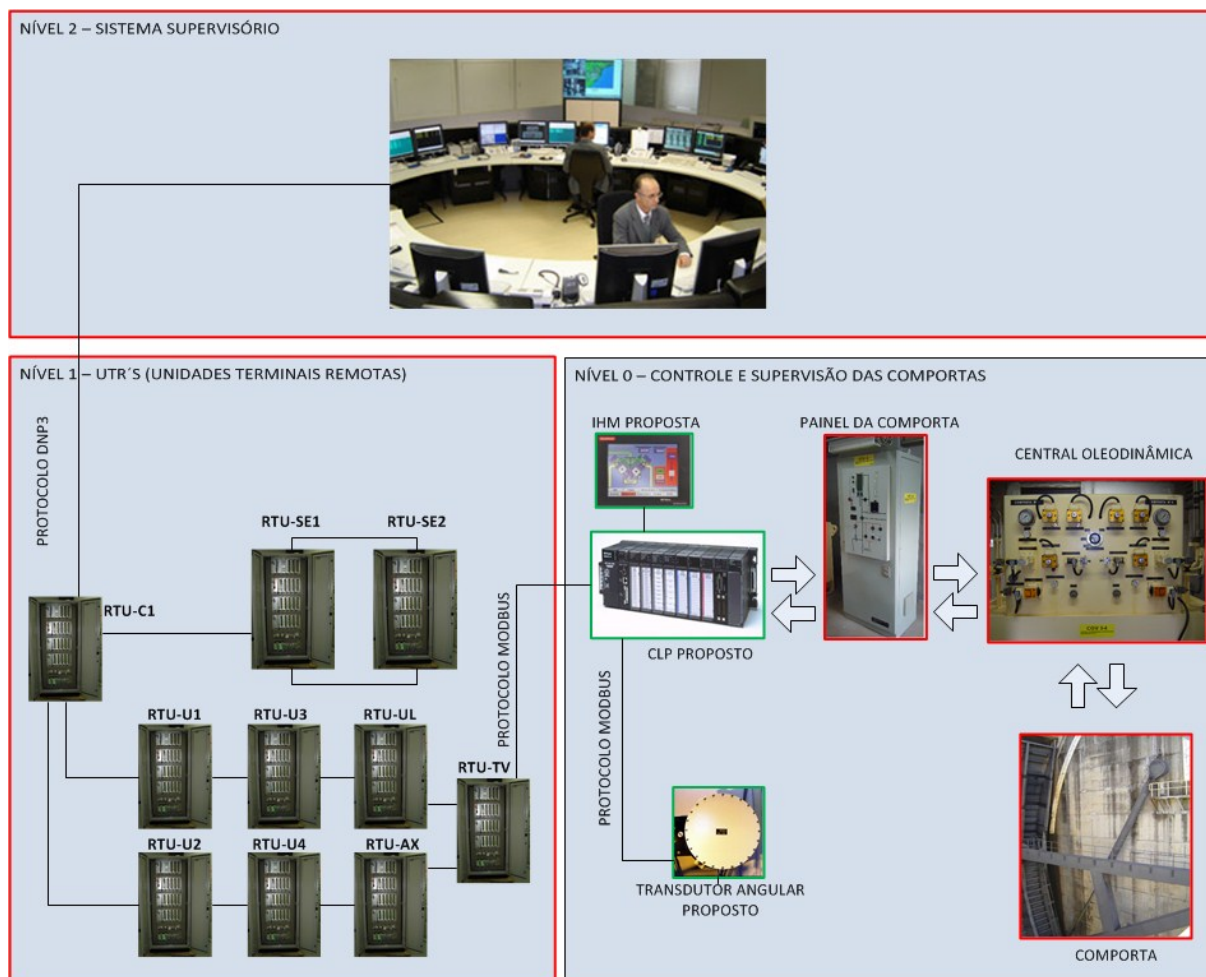


Figura 38 - Arquitetura proposta para sistema de controle das comportas
 Fonte: Autoria própria e Gefanuc. (2012)

3.1.1 Detalhamento do nível 0

Neste nível será executada a supervisão e o controle da central oleodinâmica das comportas. O vertedouro da UHE-GNB é composto por seis comportas do tipo segmento, sendo uma central oleodinâmica para cada 02 comportas, perfazendo um total de 03 centrais oleodinâmicas.

Na Figura 38, a representação do nível 0 contempla somente os componentes para supervisão e controle de uma central oleodinâmica, ou seja, duas comportas. Desta forma, o nível 0 completo será composto será de 03 conjuntos, visto que o vertedouro é composto por 06 comportas.

De forma a facilitar a explicação desta proposta, será utilizado como exemplo a supervisão e controle de uma central oleodinâmica, visto que para as demais comportas o conceito da proposta é análogo.

Este subsistema será composto de um CLP, uma IHM (Interface Homem Máquina), o transdutor angular absoluto para a medição do valor de abertura da comporta, o painel de controle da comporta e a central oleodinâmica que é a responsável acionamento e proteção do circuito hidráulico da comporta.

O transdutor angular deverá ter as seguintes características:

- a) Encoder ótico absoluto.
- b) Comunicação RS485 isolada galvanicamente.
- c) Alimentação 24 Vcc.
- d) Protocolo MODBUS.
- e) Grau de proteção IP67.
- f) Erro máximo 20 mm.

A IHM no contexto desta proposta terá a função de parametrização, indicar alarmes e eventos, além de sinópticos para possibilitar a controle e supervisão local das comportas.

O IHM deverá ter as seguintes características mínimas:

- a) *Touchscreen*.
- b) Colorida,
- c) Tamanho no mínimo 8".
- d) Resolução 800 x 600 pixels
- e) Memória Flash de 64 MB com possibilidade de expansão;
- f) Memória DRAM de 64 MB com possibilidade de expansão;
- g) Alimentação 24 Vcc.
- h) Comunicação RS232/RS485 e Ethernet LAN 10/100 Mbps.
- i) Comunicação com CLP, caso não possua os protocolos abertos, deverá ser fornecido o driver de comunicação com o CLP especificado.

O CLP será o principal componente deste nível visto que exercerá a função de supervisão e controle da central oleodinâmica das comportas, bem como executará a lógica de controle de movimentação das comportas.

Conforme descrito no início deste capítulo, foi produzido um documento de requisitos que é apresentado no apêndice A, cujo principal objetivo deste documento era de servir como elemento delineador para esta proposta que deve estar alinhada

as expectativas dos usuários finais, que são operadores das plantas, e que também fosse compatível com a instalação existente.

Compilando este documento de requisitos, a proposta deverá contemplar os seguintes controles para comportas:

- a) Controle por pulso.
- b) Controle por *setpoint*.
- c) Controle Conjunto.
- d) Estado da comporta (operação ou manutenção).
- e) Função reposição.

Controle por pulso consiste nos comando de abrir, fechar e parar a comporta. Uma vez executado o comando de abrir comporta, esta somente irá parar quando for executado um comando de parar ou quando for atingido o degrau máximo de abertura que será um parâmetro configurado no CLP. Não será implementada a função degrau no comando de fechar, visto contexto de operação de um vertedouro o comando de fechamento por pulso deve cessar somente quando for executado um comando de parar ou quando a comporta fechar totalmente.

Controle por *setpoint* consiste no operador digitar o valor de abertura pretendida para comporta. Uma vez executado este comando, a comporta irá parar na abertura requerida ou quando for atingido o degrau máximo de abertura que também será um parâmetro configurado no CLP, já o comando de *setpoint* que implique no fechamento da comporta, não será implementada a função degrau, ou seja, uma vez enviado o *setpoint* a comporta irá para na posição deseje.

Controle conjunto consiste na operação conjunta das comportas, ou seja, o operador envia um valor de abertura e todas as comportas que estiverem selecionadas para o controle conjunto deverão adequar suas aberturas ao *setpoint* enviado.

Estado da comporta consiste de dois estados:

- a) Operação: é permitido a movimentação da comporta.
- b) Manutenção: não é permitido a movimentação da comporta, ou seja, serão bloqueados todos os comandos da comporta.

Função de reposição da comporta consiste em abrir a comporta até a última posição de parada, quando acontece um vazamento (perda de pressão) no circuito hidráulico que ocasiona o fechamento da comporta.

Para a aplicação efetiva das melhorias elencadas no documento de requisitos foi necessário uma análise detalhada do diagrama elétrico do painel de controle da comporta conforme é mostrado no Anexo A, de modo que fosse possível dimensionar e especificar o CLP.

No Quadro 1 a seguir são listadas as entradas digitais necessárias:

	DESCRIÇÃO
1	COMPORTA x - TOTALMENTE FECHADA
2	COMPORTA x – COMPORTA TRAVADA
3	COMPORTA x – DISPOSITIVO DE CALAGEM ATUADO
4	COMPORTA x - TOTALMENTE ABERTA
5	COMPORTA x –EM MOVIMENTO
6	COMPORTA x – CIRCUITO DE BOMBEAMENTO NORMAL
7	COMPORTA x – CIRCUITO DE BOMBEAMENTO TRANSFERIDO
8	COMPORTA x – ABERTURA MÁXIMA
9	COMPORTA x – CHAVE SELETORA EM REMOTO
10	COMPORTA x - ALIMENTAÇÃO COMANDO EM 125 Vcc – NORMAL
11	CENTRAL OLEODINÂMICA x – PRESSÃO ALTA
12	CENTRAL OLEODINÂMICA x – PRESSÃO BAIXA
13	CENTRAL OLEODINÂMICA x – NÍVEL DE ÓLEO BAIXO
14	CENTRAL OLEODINÂMICA x – PROTEÇÃO DO MOTOR ATUADA
15	CENTRAL OLEODINÂMICA x – PRESSÃO DE FECHAMENTO TOTAL
16	COMPORTA ADJACENTE – CIRCUITO DE BOMBEAMENTO NORMAL
17	COMPORTA ADJACENTE – PRÉ-CONDIÇÕES SATISFEITAS

Quadro 1 - entradas digitais

Fonte: Autoria própria

No Quadro 2 a seguir são listadas as saídas digitais necessárias:

	DESCRIÇÃO
1	COMPORTA x - COMANDO ABRIR
2	COMPORTA x - COMANDO FECHAR
3	COMPORTA x - COMANDO PARAR
4	SIRENE VERTEDOURO - COMANDO LIGAR
5	CLP NORMAL

Quadro 2 - saídas digitais

Fonte: Autoria própria

No Quadro 3 a seguir são listadas as variáveis que deverão ser criadas no CLP:

	TIPO		DESCRIÇÃO
1	IN	BIT	COMP. x - RESET HORAS DE OPERAÇÃO BOMBA
2	IN	BIT	COMP. x – MODO MANUTENÇÃO
3	IN	BIT	COMP. x - MODO OPERAÇÃO
4	IN	BIT	COMP. x - SELEÇÃO DE CONTROLE POR SETPOINT
5	IN	BIT	COMP. x - EXECUTAR SETPOINT
6	IN	BIT	COMP. x - CANCELAR SETPOINT
7	IN	BIT	COMP. x - SELEÇÃO DE CONTROLE POR PULSO
8	IN	BIT	COMP. x - ABRIR POR PULSO
9	IN	BIT	COMP. x - FECHAR POR PULSO
10	IN	BIT	COMP. x - PARAR POR PULSO
11	IN	WORD	COMP. x - SETPOINT DE ABERTURA
12	OUT	BIT	COMPORTA x – EM REPOSIÇÃO
13	OUT	BIT	COMPORTA x – FALHA NA REPOSIÇÃO
14	OUT	BIT	COMPORTA x - ABERTA
15	OUT	BIT	COMPORTA x – ABRINDO
16	OUT	BIT	COMPORTA x – FECHANDO
17	OUT	BIT	COMPORTA x - RESUMO DE FALHAS
18	OUT	BIT	COMPORTA x – FALHA TRANSDUTOR DE ABERTURA
19	OUT	BIT	COMPORTA x – PRÉ-CONDIÇÕES SATISFEITAS
20	OUT	WORD	COMP. x - QUANTIDADE DE REPOSIÇÕES
21	OUT	WORD	COMP. x - ABERTURA REAL
22	OUT	WORD	COMP. x - HORAS DE OPERAÇÃO BOMBA
23	OUT	WORD	COMP. x - ABERTURA DE REFERÊNCIA

Quadro 3 - variáveis internas CLP

Fonte: Autoria própria

Abaixo serão descritas através da linguagem diagrama de bloco de funções ou *FBD* do inglês *Function Block Diagram*, as principais lógicas a serem implementadas no CLP.

Na Figura 39 é ilustrada a lógica de pré-condição para comando da comporta, ou seja, nesta lógica são avaliadas todas as condições da central oleodinâmica, bem como se a comporta está disponível para a movimentação.



Figura 39 - FBD da lógica de pré-condição
Fonte: Autoria própria

Na Figura 40 é ilustrada a lógica de seleção do controle por pulso que conforme já explicado, consiste nos comandos de abrir, fechar e parar a comporta. Cabe aqui salientar que como existe uma central oleodinâmica para cada duas comportas é possível a movimentação da comporta através da circuito hidráulico da comporta adjacente.

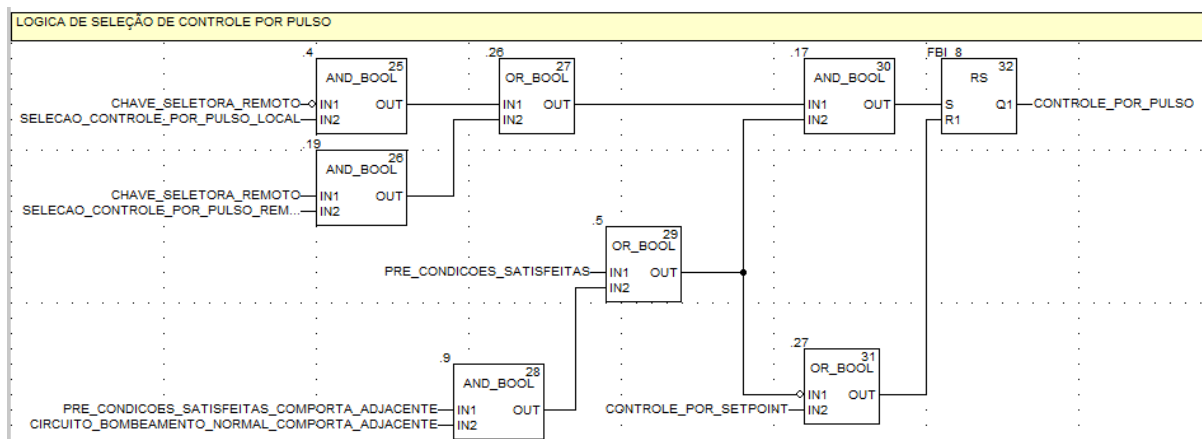


Figura 40 - FBD da lógica de seleção de controle por pulso
Fonte: Autoria própria

Na Figura 41 é ilustrada a lógica de seleção do controle por setpoint que conforme já explicado, consiste no operador digitar o valor de abertura pretendida para comporta. Cabe aqui salientar que como existe uma central oleodinâmica para cada duas comportas é possível a movimentação da comporta através da circuito hidráulico da comporta adjacente.

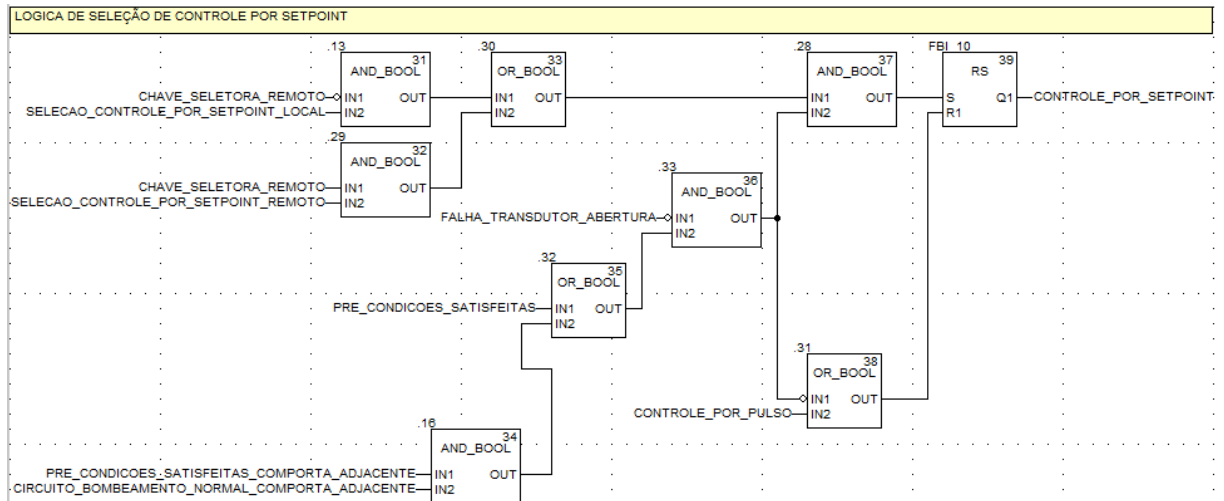


Figura 41 - FBD da lógica de seleção de controle por setpoint
Fonte: Autoria própria

Na Figura 42 é ilustrada a lógica do comando de abertura da comporta.

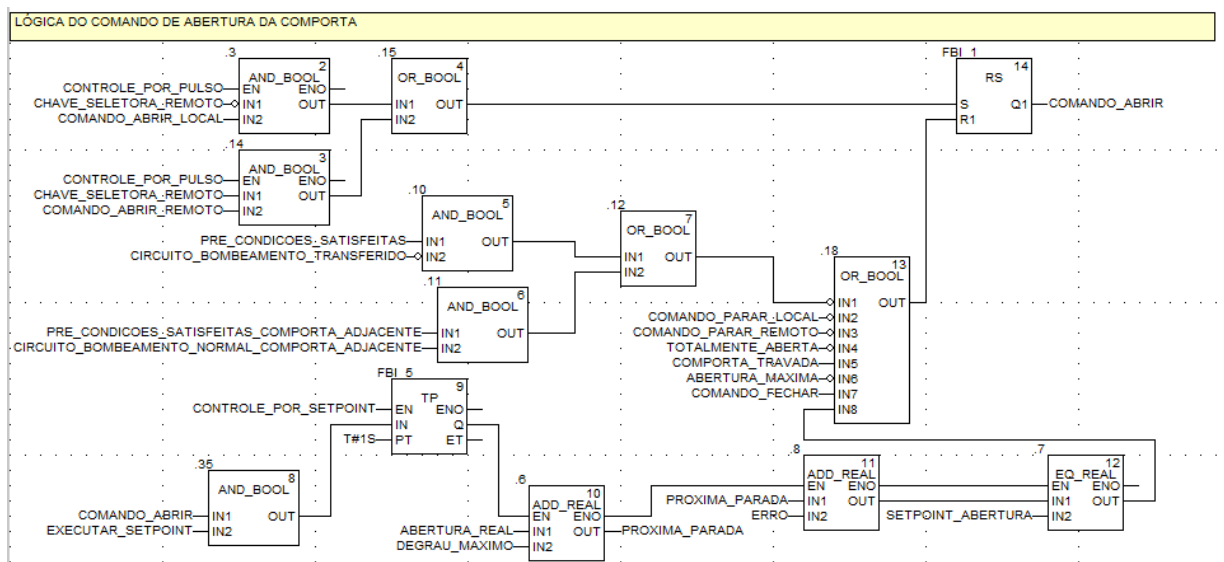


Figura 42 - FBD da lógica do comando de abertura
Fonte: Autoria própria

para comunicação com o CLP do nível 0, além da lógica do controle conjunto das comportas.

Na Figura 45 é ilustrada a tela do *System Configurator* que é software de configuração da UTR, com a configuração do canal MODBUS Master que fará a comunicação com o CLP de controle das comportas.

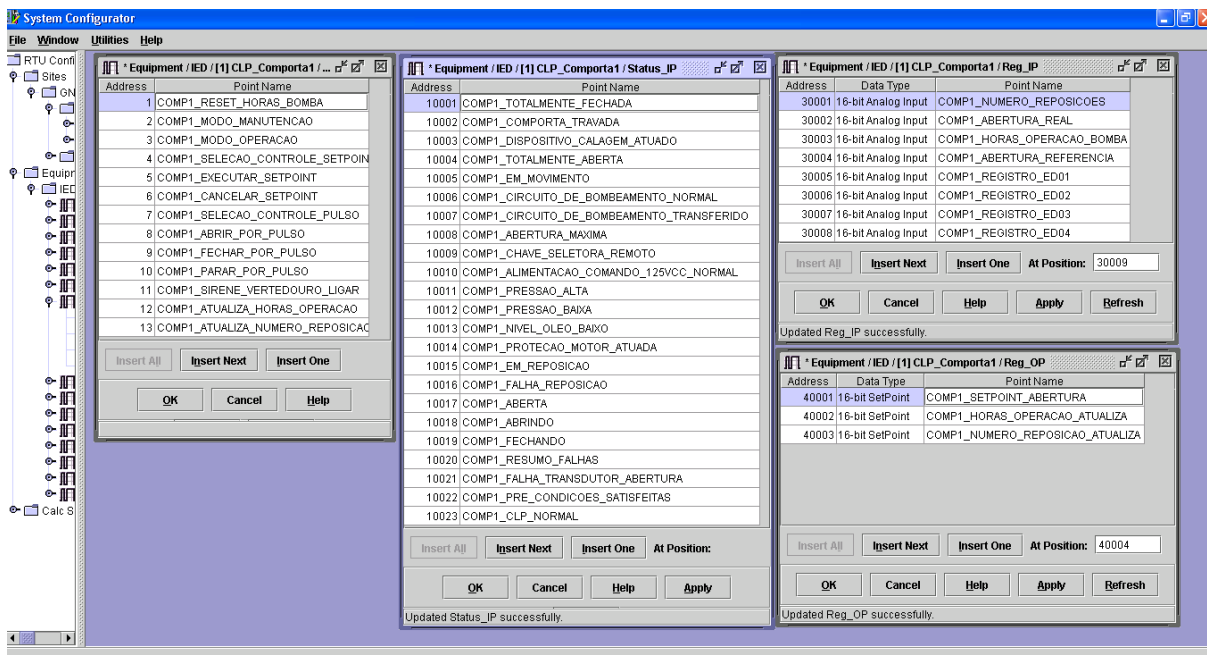


Figura 45 - configuração canal MODBUS Master
Fonte: Autoria própria (System Configurator)

As lógicas deste nível serão desenvolvidas na linguagem SALL (*State And Logic Language*) que é uma linguagem proprietária da Foxboro que é a fabricante da UTR.

Para facilitar o entendimento das lógicas que serão desenvolvidas na UTR, serão utilizados diagramas de bloco de funções para descrevê-las.

Na Figura 46 é ilustrada a lógica de seleção da comporta para a operação em controle conjunto, onde são verificadas todas as condições necessárias para que a comporta possa ser habilitada para operação neste tipo de controle, bem como as condições que desabilitam a seleção da operação da comporta em controle conjunto.

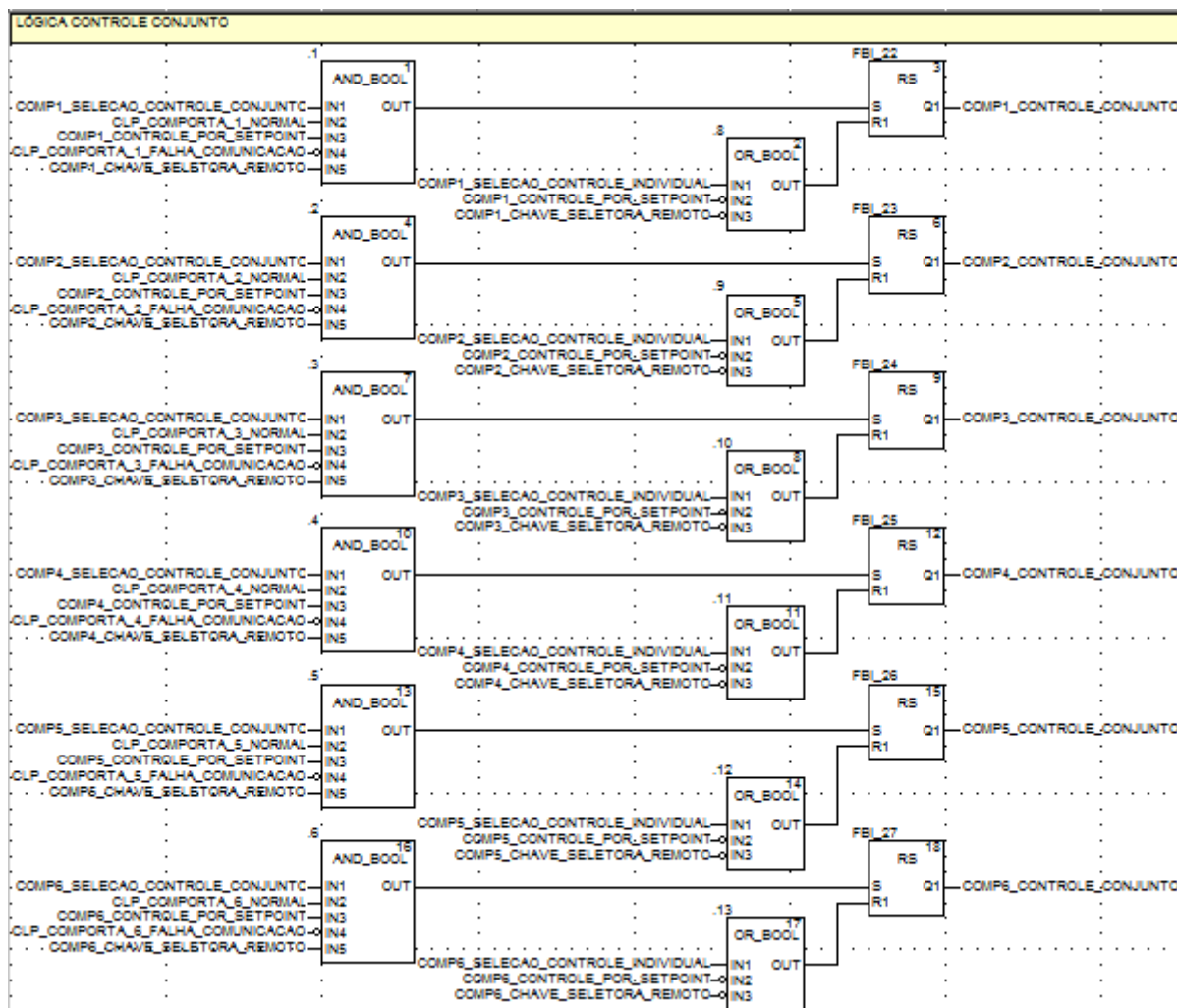


Figura 46 - lógica de seleção da comporta em controle conjunto
Fonte: Autoria própria

Na Figura 47 é representada a lógica de pré-condição para operação em controle conjunto que é implementada para habilitar a operação em conjunto somente se duas ou mais comportas estiverem selecionadas para operação em controle conjunto.

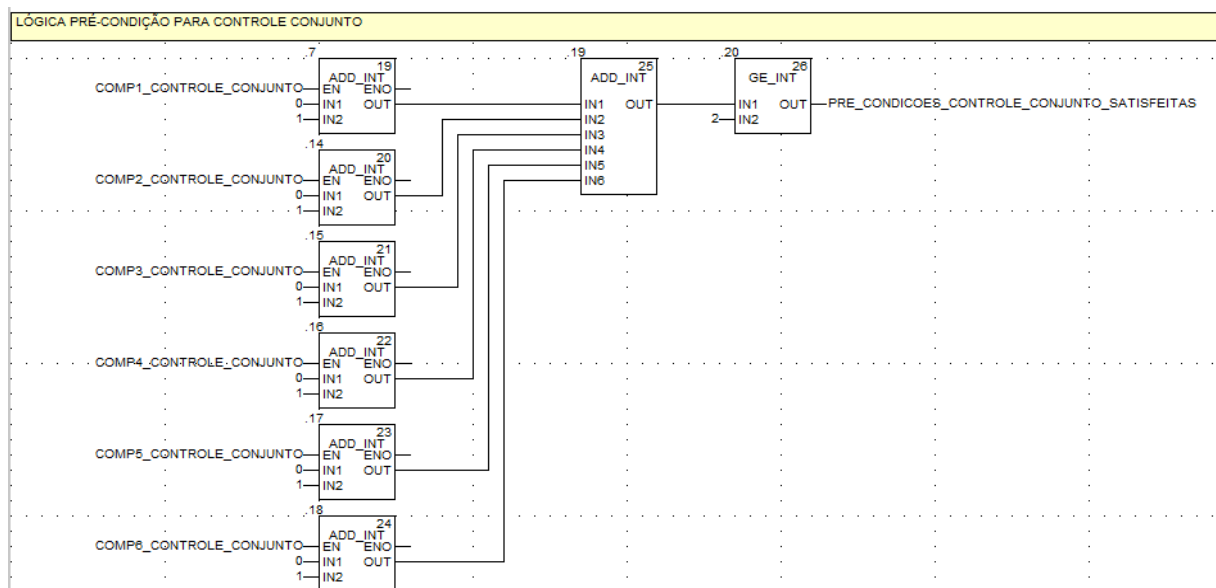


Figura 47 - lógica de pré-condição para operação em controle conjunto
Fonte: Autoria própria

Nas Figuras 48, 49, 50 e 51 são demonstradas as lógicas de envio dos setpoints em controle conjunto aos CLPs de controle das comportas.

Detalhando um pouco mais estas lógicas, na Figura 48 é ilustrada a lógica de envio dos setpoints aos CLPs das comportas que verifica se as pré-condições estão atendidas para a operação em controle conjunto e uma vez executado o comando de “executar setpoint em controle conjunto”, os setpoints são enviados aos CLPs, porém os setpoints serão validados através de um comando em paralelo referente ao tipo de movimento que será realizado pela comporta.

As lógicas de validação são mostradas através das Figuras 49, 50 e 51, esta lógica é fundamental para garantir a segurança na operação de movimentação das comportas e, sobretudo evitar manobras incorretas no vertedouro.

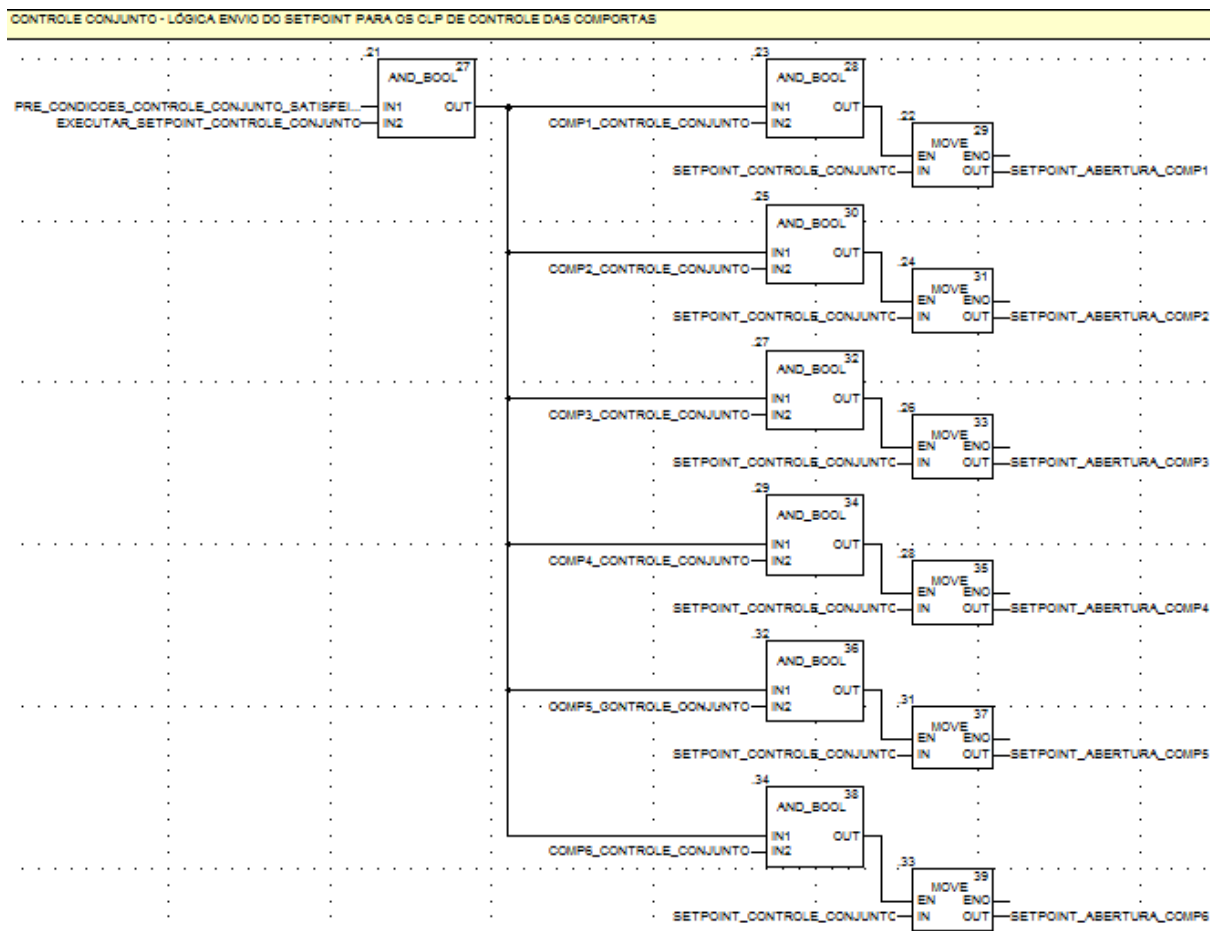


Figura 48 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto para as comportas
Fonte: Autoria própria

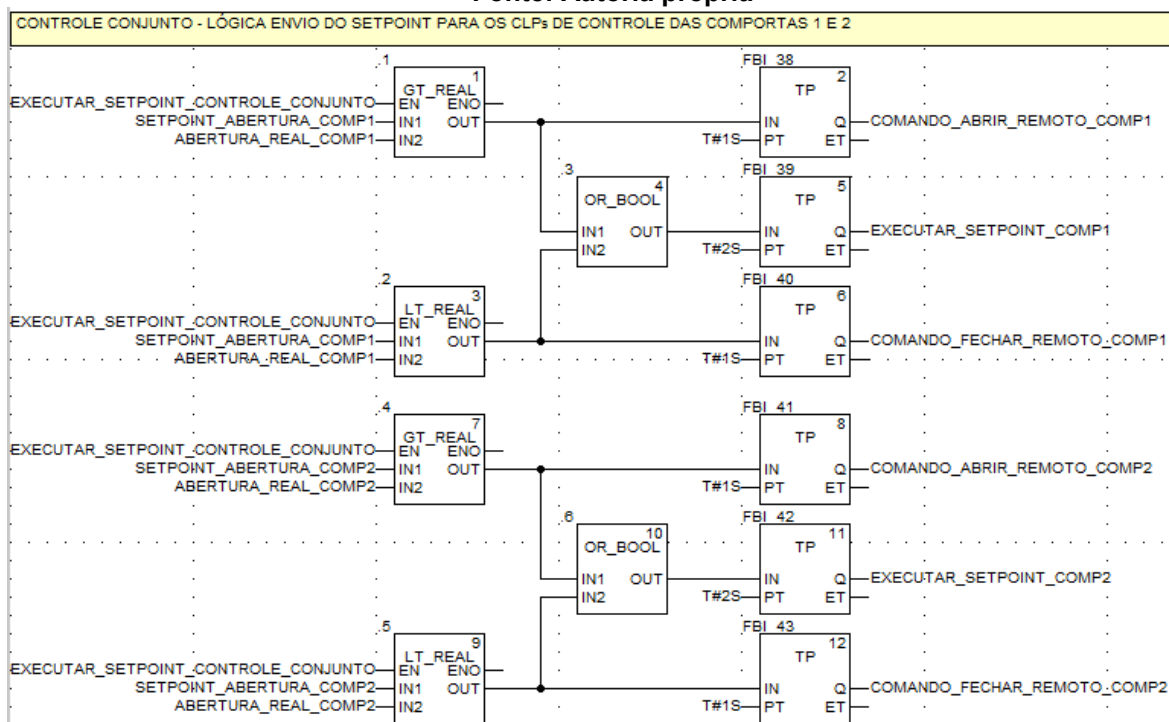


Figura 49 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto comportas 1 e 2
Fonte: Autoria própria

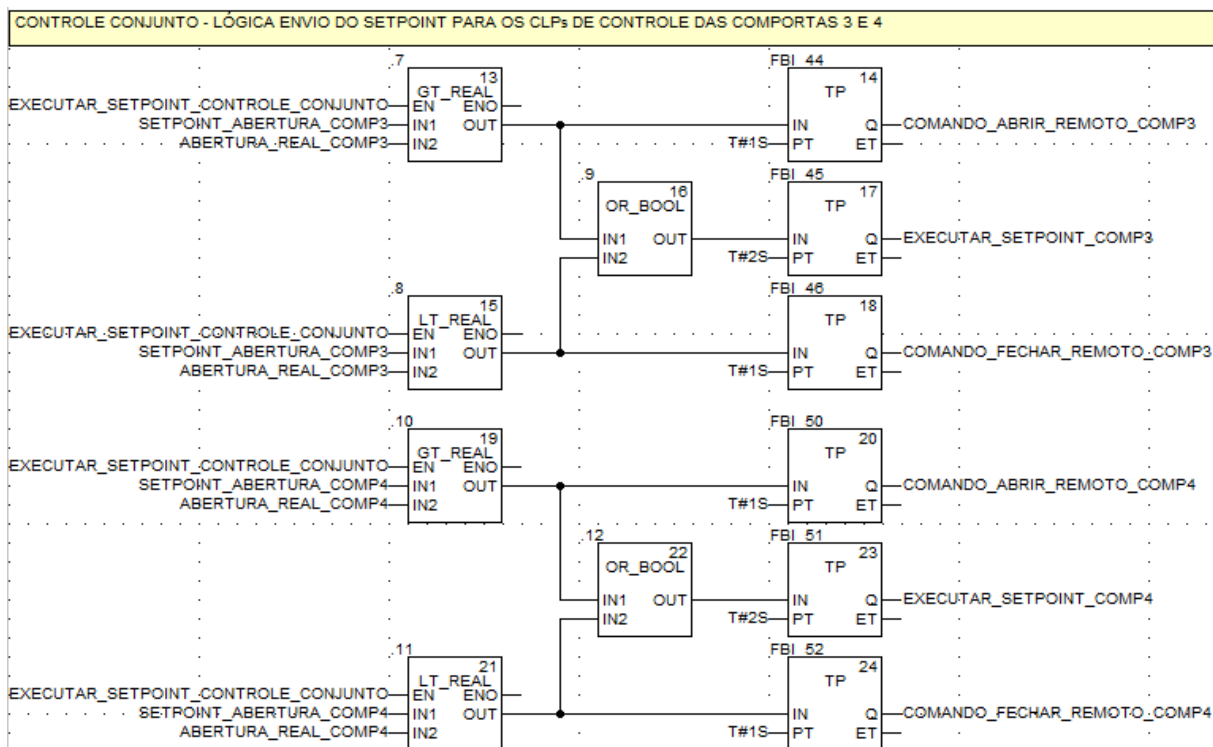


Figura 50 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto comportas 3 e 4
Fonte: Autoria própria

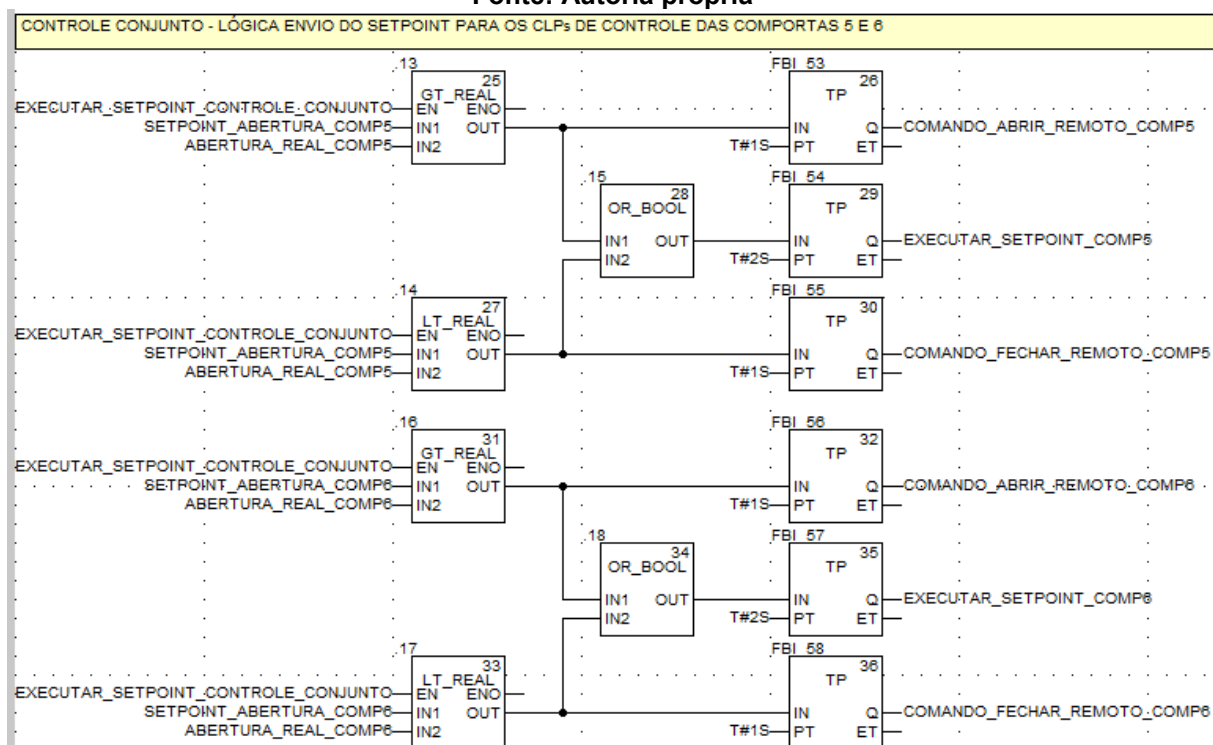


Figura 51 - lógica de envio de setpoint em controle conjunto comportas 5 e 6
Fonte: Autoria própria

3.1.3 Detalhamento do nível 2

Este nível corresponde ao sistema supervisorio SCADA já existente, cuja função é realizar a interação entre o operador e o processo, neste caso representado pelo controle das comportas do vertedouro.

Neste nível será necessária elaboração de uma tela para supervisão e o controle das comportas que são apresentadas nas Figuras 57 e 58.

Na Figura 52 é ilustrada uma sugestão de tela para o controle conjunto das comportas do vertedouro.

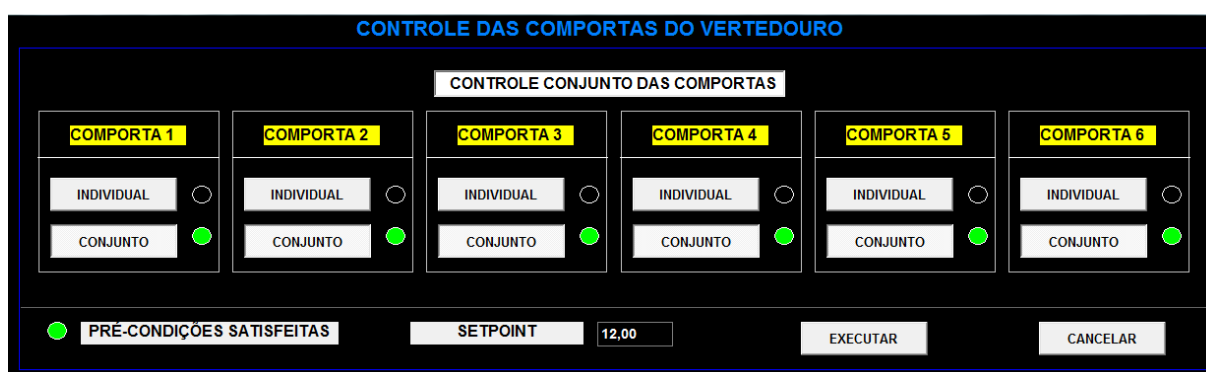


Figura 52 - sugestão da tela do controle conjunto das comportas do vertedouro
Fonte: Autoria própria

Na Figura 53 é ilustrada a uma sugestão de tela para o controle individual das comportas do vertedouro.

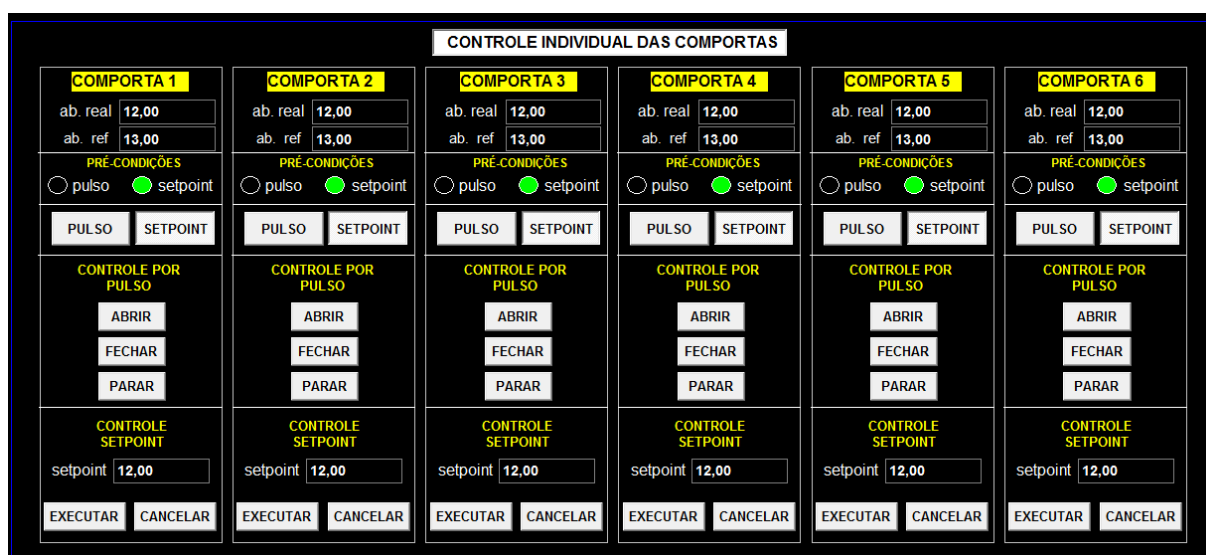


Figura 53 - sugestão da tela do controle individual das comportas do vertedouro
Fonte: Autoria própria

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo final, são apresentadas as considerações sobre o atendimento aos objetivos propostos para a pesquisa, além das contribuições geradas por estudo. Finalmente, são assinaladas as sugestões para a realização de trabalhos futuros que tenham relação com o objeto deste estudo.

Conforme descrito na seção 2.2 - soluções para controle de vertedouros existentes (p. 48-51) existem outras soluções que poderiam ser utilizados para controle de comportas, porém ambas apresentavam desvantagens, seja relacionada a custo ou a dificuldade de expansão, desta forma optou-se pela elaboração de uma proposta que representasse um menor custo e com a possibilidade de customização sem a necessidade de se recorrer ao fabricante.

De acordo com o que foi descrito no capítulo de introdução, na seção 1.5 – Objetivos (p. 16), o objetivo geral desta pesquisa é o de propor uma solução que atenda aos requisitos para a operação local e remota do controle das comportas do vertedouro da UHE-GNB. Deste modo, amparado pelo exercício e aplicação da metodologia descrita no capítulo de introdução, na seção 1.6 - metodologia (p. 16-17), os dados são apresentados ao longo do estudo e o resultado, ou seja, a proposta é apresentada e detalhada ao longo do capítulo 3 (p. 52-67) e considera-se, portanto, que o objetivo foi atingido.

Com relação ao objetivo específico, relacionado ao levantamento dos requisitos para possibilitar a operação local e remota do sistema, é tratado em especial, no capítulo 3 - proposta de melhoria no controle das comportas (p. 52-53). Ainda no mesmo capítulo, são tratados os objetivos específicos referente à investigação possíveis melhorias para o sistema atual, identificação do sensoriamento para a medição de abertura das comportas.

Já com relação aos objetivos específicos de especificação do CLP adequado para a solução do problema, a proposta do algoritmo de programação de modo a garantir o funcionamento da instalação e atender os requisitos, bem como a proposta de integração com o sistema digital de supervisão e controle existente, estes foram detalhados ao longo do capítulo 3 (p. 52-67) nas seções. 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3, e considera-se, portanto, que os objetivos específicos foram atingidos.

Dentre as contribuições apuradas neste estudo, destaca-se a possibilidade de prover uma atualização tecnológica sem a necessidade de substituição de toda

uma instalação, ou seja, este estudo teve como produto final uma proposta de fácil adaptação à instalação existente, o que sem dúvida representa uma opção de menor custo para a organização.

Outra contribuição que pode ser assinalada, é que este estudo também pode ser utilizado como base para automatização do sistema de controle de comportas de instalações existentes e também de novas instalações.

Cabe aqui enfatizar que o aprendizado e o desenvolvimento profissional oportunizado por este trabalho, teve como fator preponderante a estratégia adotada na elaboração da metodologia de desenvolvimento da pesquisa, pois permitiu um estudo aprofundado da instalação, e principalmente a identificação das necessidades e melhorias que foram fundamentadas através das práticas e atividades diárias dos usuários finais, o que de certa forma delineou e, sobretudo consolidou a elaboração de uma proposta que estivesse alinhada as expectativas dos usuários.

As possíveis dificuldades de implantação desta proposta estão associadas ao tempo de resposta do conjunto formado pela central oleodinâmica e comporta, visto que se tratam equipamentos fundamentalmente mecânicos, e outra dificuldade pode estar associada à necessidade do conhecimento de todos os equipamentos envolvidos, visto que para a efetiva aplicação desta proposta, há a necessidade de integração entre os diversos níveis.

Como continuidade deste trabalho sugere-se o desenvolvimento de um módulo que pode ser implementado no supervisório ou no CLP de controle das comportas que permita através de configuração de parâmetros, se realizar o controle automático da movimentação das comportas conforme as leis de manobras definidas pelo ONS. Com a implementação deste módulo qualquer alteração nas leis de manobra das comportas, não seria necessário reprogramar a lógica de controle de movimentação e sim alterar parâmetros.

Outra sugestão seria a implementação de um módulo de controle de movimentação baseado na vazão a ser vertida, ou seja, uma vez informada a vazão um algoritmo calcularia o setpoint de abertura da comportas para que fosse vertida a vazão informada pelo usuário.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2012, 15:45:15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7259**: comportas hidráulicas terminologia. Rio de Janeiro, 2001.

BEGA, Egídio A. (Organizador.) et al. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: 2. ed. Interciência, 2006.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO. **Manual de operação da geração: controle operacional do reservatório de Foz do Areia e Segredo**. Curitiba, 2006.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Geração**. Disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/geracao/>>. Acesso em: 01 mai. 2012, 15:48:10.

DANEELS, Alex; SALTER, Wayne. **What is SCADA?** Disponível em <<https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica99/papers/mc1i01.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2012, 20:12:23.

DELMÉE, Gérard J. **Manual de medição de vazão**. São Paulo: 3. ed. Edgard Blücher, 2003.

ERBISTE, Paulo Cesar F. **Comportas hidráulicas**. Rio de Janeiro: 1. ed. Campus, 1987.

GEFANUC. **GE Fanuc PLC Series 90-30**. Disponível em <<http://www.gefanuc9030.com/index.php>>. Acesso em: 12 mai. 2012, 23:15:10.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: 4. ed. Atlas, 2002.

HYTRONIC AUTOMAÇÃO LTDA. **Produtos**. Disponível em <<http://www.hytronic.com.br/produtos.asp?pag=principal&grand=posicao>>. Acesso em: 29 mai. 2012, 23:15:10.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - VIM**. Rio de Janeiro: 3 ed. Inmetro, 2003.

JUNG, Carlos F. **Metodologia científica: ênfase em pesquisa tecnológica**. Disponível em <<http://www.ceset.unicamp.br/~epoleti/ST008/Metodologia%20F%E1bio.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2012, 20:10:15.

KOHN, Eduardo. **Vertedor do tipo labirinto**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11122006-142016/pt-br.php>. Acesso em: 20 fev. 2012, 22:15.

OGATA, Matsuto. **Engenharia de controle moderno**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA DO SISTEMA ELÉTRICO. **Submódulo 10.8 - Operação hidráulica dos sistemas de reservatórios**. Disponível em <[http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/videntificadorlogico/936948277BA07FD4832577A50071C14E/\\$file/Subm%C3%B3dulo%2010.8_Rev_1.1.pdf?openelement](http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/videntificadorlogico/936948277BA07FD4832577A50071C14E/$file/Subm%C3%B3dulo%2010.8_Rev_1.1.pdf?openelement)>. Acesso em: 14 mai. 2012, 20:53:10.

PRUDENTE, Francisco. **Automação industrial PLC: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

RAIMUNDO, Ana Paula. **Estruturas hidráulicas utilizadas em reservatórios de controle de cheias**. 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14012008-113931/pt-br.php>. Acesso em: 23 fev. 2012, 20:15.

REIS, Lineu B. dos. **Geração de energia elétrica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Manole, 2003.

REXROTH. **CIMS (Ceramax Integrated Measuring System)**. Disponível em < http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_i/en/industries_sm/civil_engineering/>. Acesso em: 30 mai. 2012, 23:45:09.

SCHWARTZMAN, Simon. **Pesquisa acadêmica, pesquisa básica e pesquisa aplicada em duas comunidades científicas**. Disponível em < http://www.schwartzman.org.br/simon/acad_ap.htm>. Acesso em: 18 jan. 2012, 20:10:15.

SILVA, Ana Paula G. da; SALVADOR, Marcelo. **O que são sistemas Supervisórios?** Disponível em: < <http://kb.elipse.com.br/en-us/questions/62/>>. Acesso: em 21 fev. 2012, 21:15:13.

SILVEIRA, Paulo R. da; SANTOS, Winderson E. dos. **Automação e controle discreto**. 4. Ed. São Paulo: Érica, 2002.


SOUZA, Zulcy de; FUCHS, Rubens D.; SANTOS, Afonso H. M. **Centrais hidro e termelétricas**. São Paulo: Edgar Blücher, 1983.

SOUZA, Zulcy de; SANTOS, Afonso H. M; BORTONI, Edson da C. **Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

TOLMASQUIM, Maurício T. **Geração de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Controle das comportas do vertedouro - Requisitos

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA  COPEL

DIRETORIA DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO E DE TELECOMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO DA GERAÇÃO
DIVISÃO DE PROTEÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE USINA

ASSUNTO: CONTROLE DAS COMPORTAS DO VERTEDOURO DA UHE-GNB -
ELICITAÇÃO DE REQUISITOS

RESPONSÁVEL: Flores (24727).

DATA : 30/04/12 e 04/05/12.

O objetivo deste documento é de realizar um levantamento de todos os requisitos necessários para o projeto e especificação de uma solução para o Controle dascomportas do vertedouro da UHE-GNB.

Para elicitação dos requisitos foram consultados os clientes do GIP que são a operação local da usina e a operação tempo real.

Requisitos operação local: (30/04/2012) colaboração: Mário Zozofredo

- Precisão do controle: 50 mm
- Controle individual por comporta;
- Controle por setpoint;
- Indicação local de abertura;
- Estabelecer limite máximo para a um comando de abertura(evitar lâmina livre);
- Estabelecer um limite máximo configurável para a manobra (degrau);
- Função e alarme de reposição;
- Operação local e remota (local: central oleodinâmica / remoto: GIP e SDSC);
- Manter lógica atual de movimentação do vertedouro com os comandos de abrir/fechar/parar.

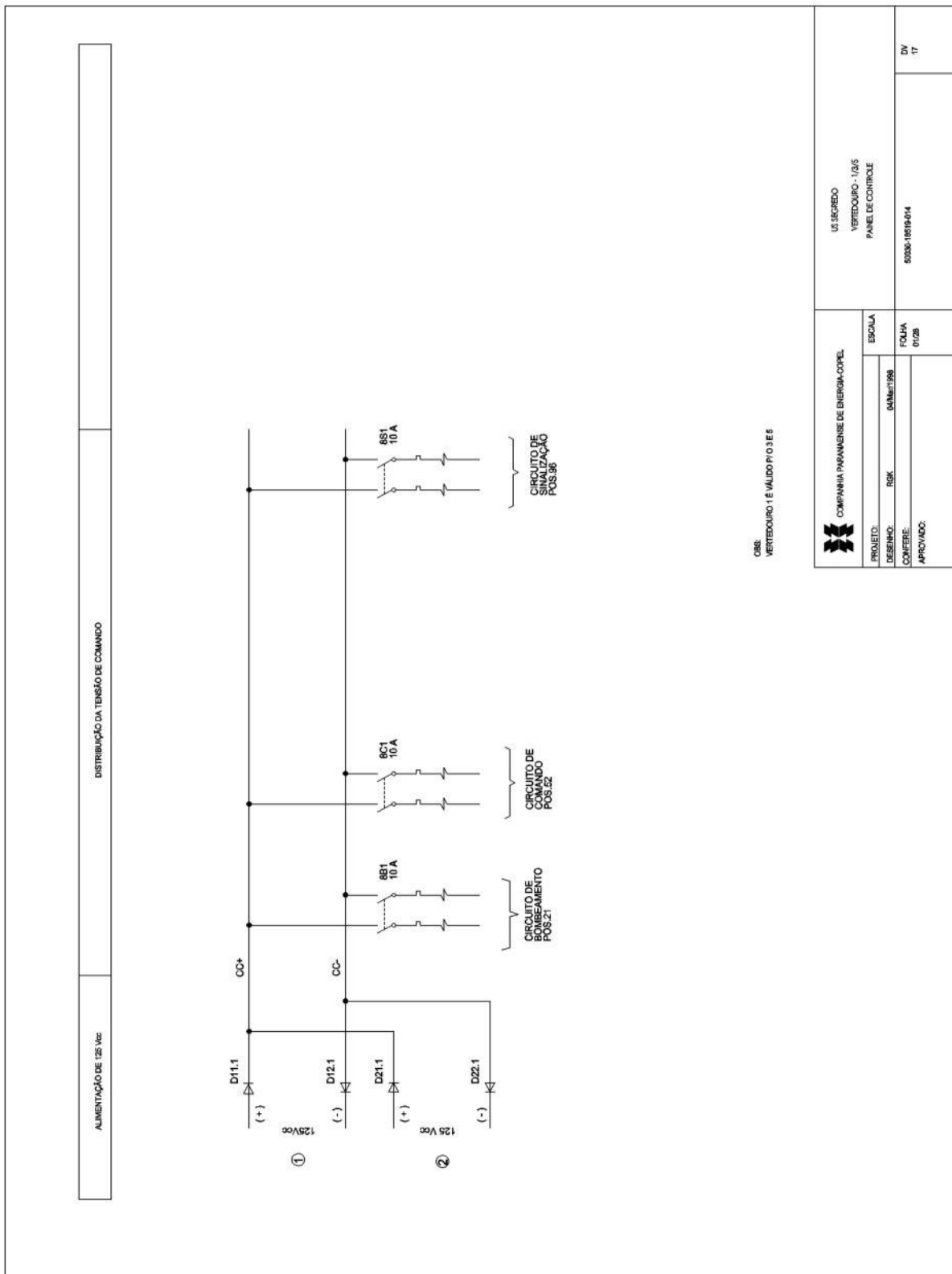
Requisitos operação tempo real: (04/05/2012) colaboração: Jurandir Dartora

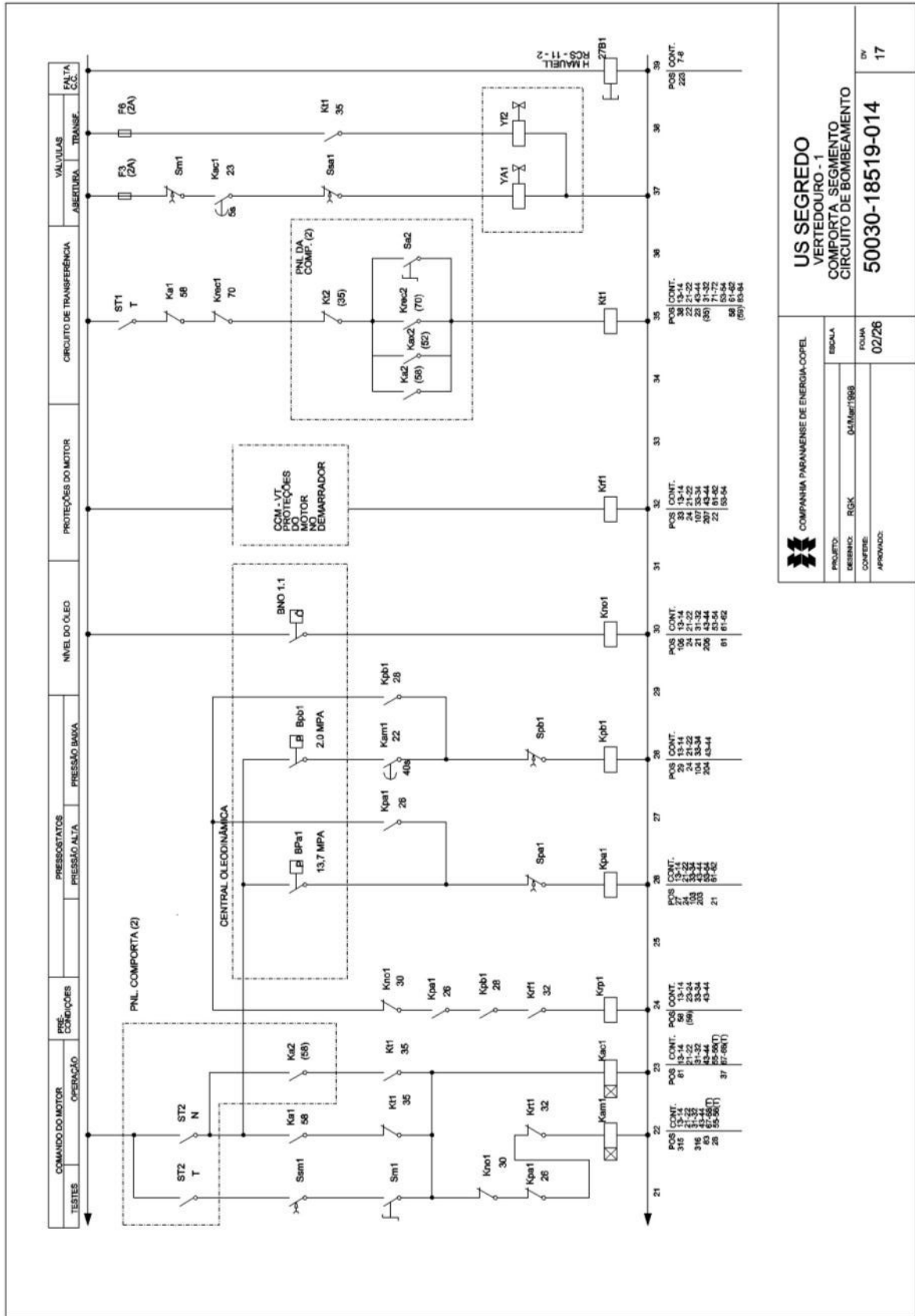
- Precisão do controle: 50 mm
- Controle Conjunto e Individual por comporta;
- Controle por setpoint;
- Somente alarme de reposição;
- Permitir seleção de indisponibilidade por comporta;
- Manter lógica atual de movimentação do vertedouro com os comandos de abrir/fechar/parar;
- Migrar as facilidades e pontos positivos do GIP da UHE-GJR.

José Carlos Domingues Flores
Reg.24727

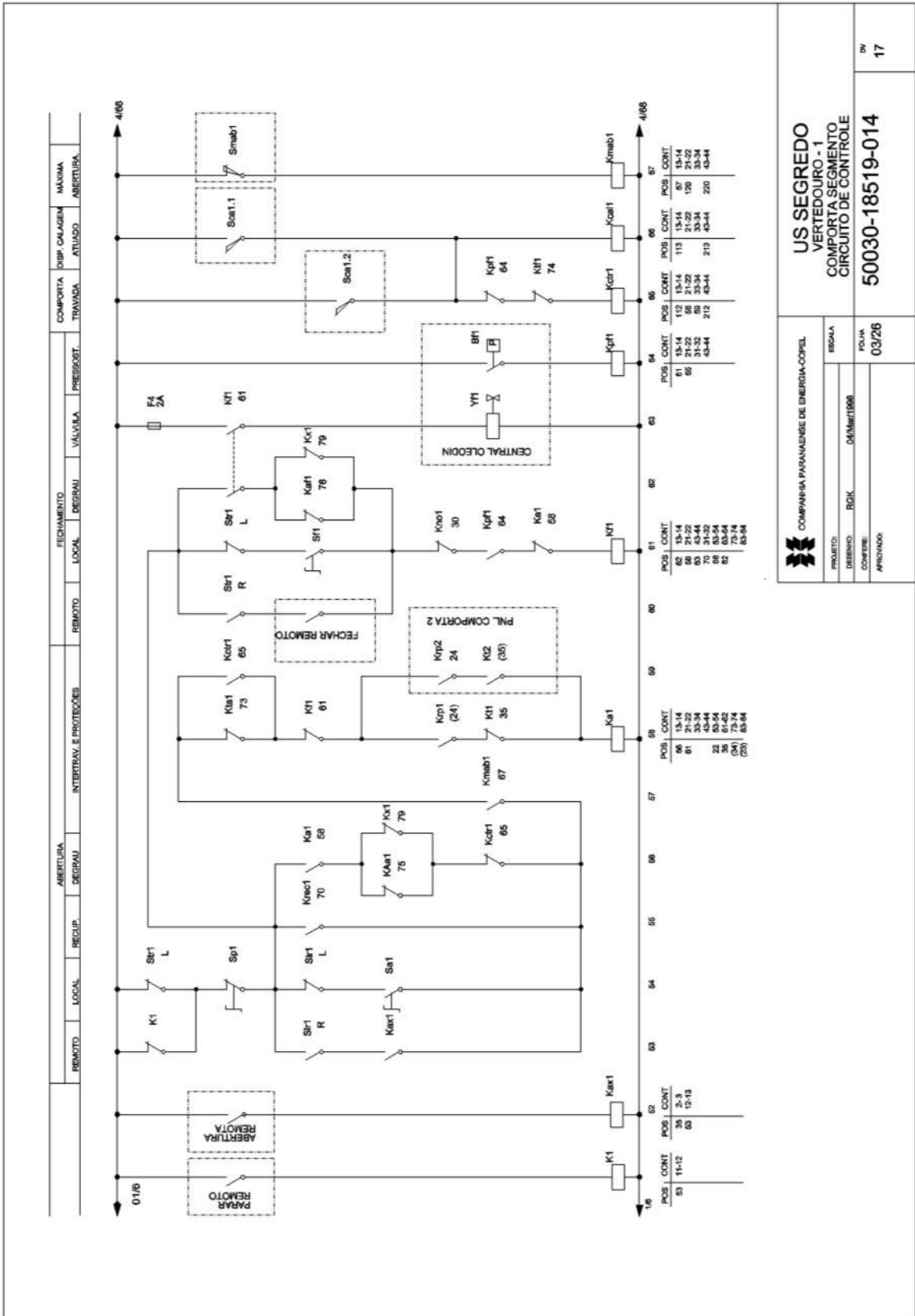
ANEXOS

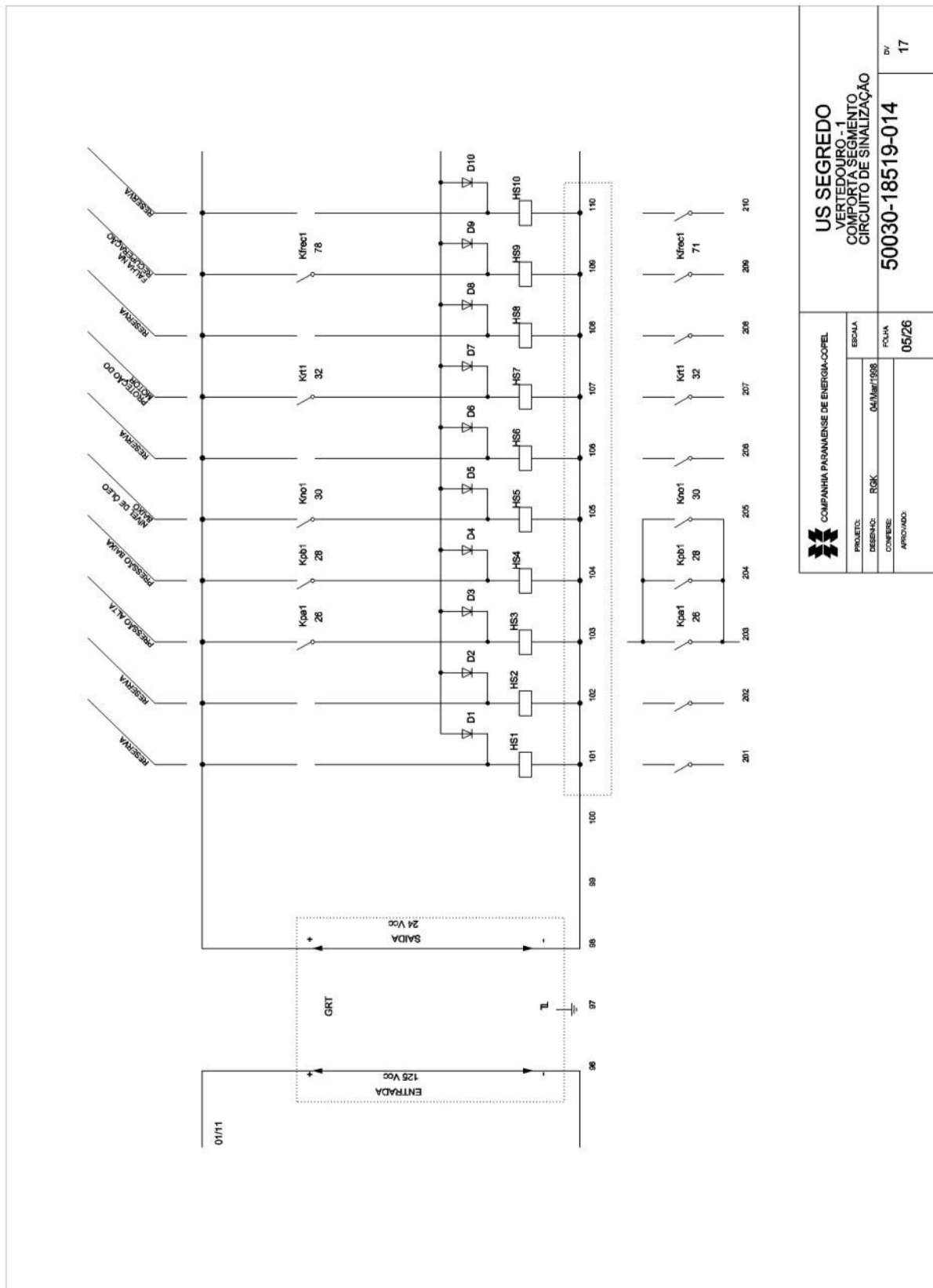
ANEXO A – Diagrama elétrico do painel de controle da comporta



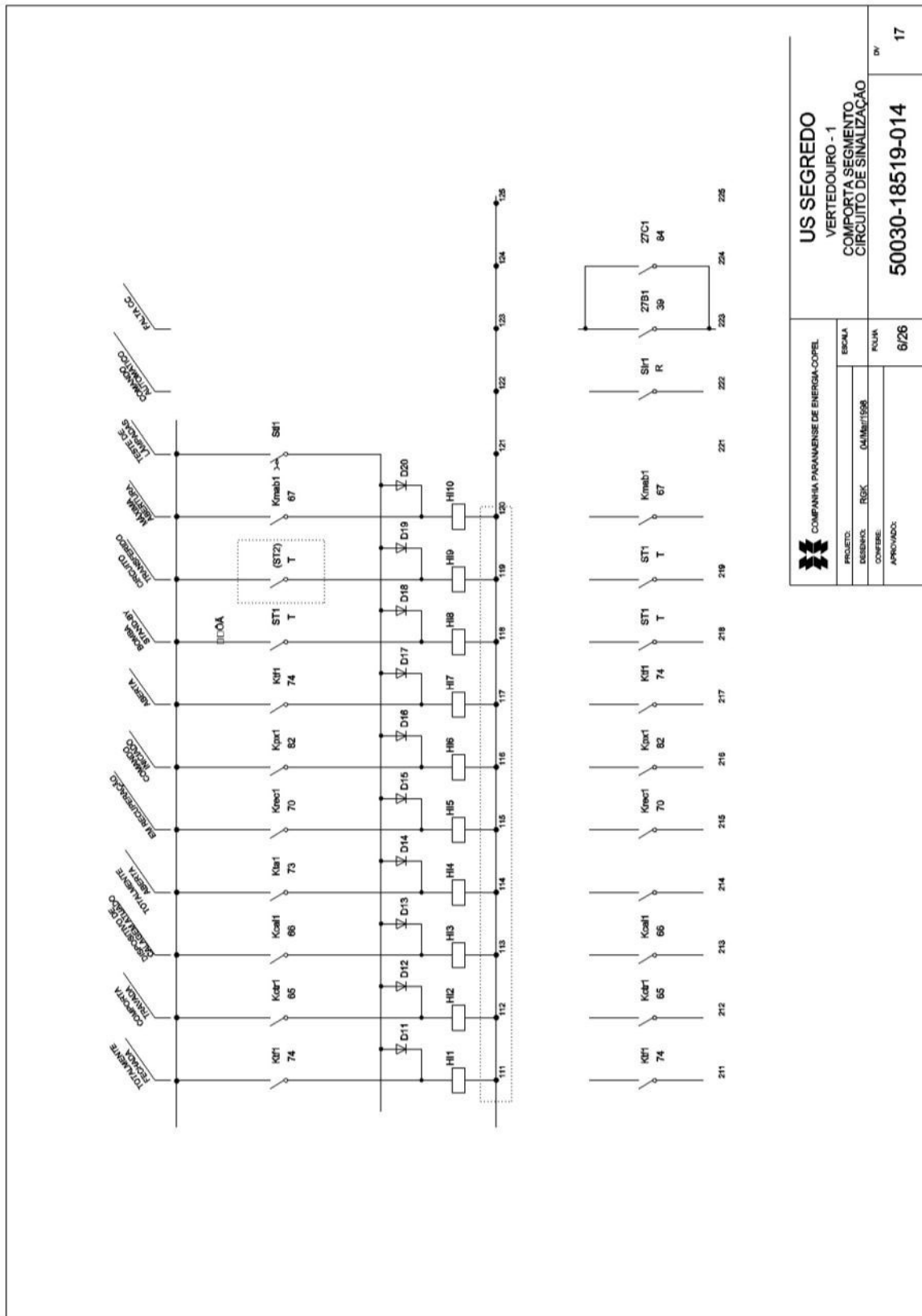


		COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA-COPEL	
		PROJETO: _____	ESCALA: _____
DESENHO: RIGK	DATA: 04/Mar/1988	US SEGREDO VERTEDOURO - 1 COMPORTA SEGMENTO CIRCUITO DE BOMBAMENTO 50030-18519-014	
CONTROLE: _____	FOLHA: 02/26		
APROVADO: _____	DI: 17		



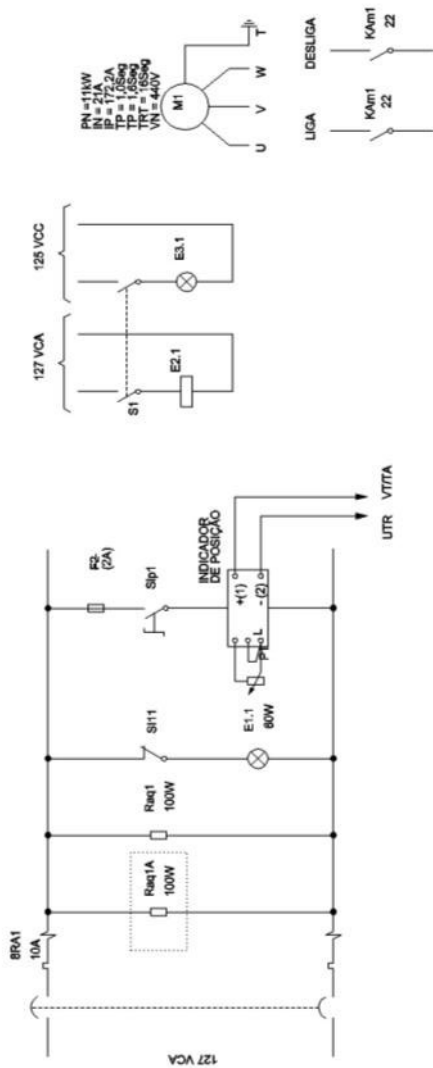


		COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA-COPEL	
		PROJETO:	ESPALHA
US SEGREDO VERTEDOURO - 1 COMPORTA SEGMENTO CIRCUITO DE SINALIZAÇÃO		DESENHO:	DA/MAR/1988
50030-18519-014		CONFERE:	
17		APROVA:	05/26



		US SEGREDO	
		VERTEDOURO - 1	
PROJETO: _____ DESENHO: RGK (04/06/1998)		COMFORTA SEGMENTO CIRCUITO DE SINALIZAÇÃO	
CONFERE: _____ APROVADO: _____		ESCALA FOLHA 6/26	Nº 50030-18519-014 17

300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316
ALIMENTAÇÃO 127 VCA	AGUIÇA REC.POS.	AGUIÇA INTERNO.	LUMIN. INTERNA	INDICADOR DE POSIÇÃO RETO (ZONA)	INDICADOR DE POSIÇÃO RETO (ZONA)	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316
											FLUORESCENTE	INCANDESCENTE				MOTOR



		US SEGREDO VERTEDOURO - 1 SERVIÇOS AUXILIARES DIAGRAMA ELÉTRICO	
PROJETO:	BRUNO	DATA:	04/Mar/1988
DESENHO:	RGK	FOLHA:	07/26
CONFERE:			
APROVADO:			
		50030-18519-014	17