

Tese realizada sob orientação de

Professor Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano

Professor Auxiliar do

Departamento de Engenharia Electromecânica da

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

O trabalho tem uma tal fecundidade e tal eficácia, que se pode afirmar, sem receio de engano, que ele é a fonte única de onde procede a riqueza das nações. Papa Leão XIII

Agradecimentos

Desde já prestar os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Professor Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano, Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, pela oportunidade concedida, confiança e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho, sendo para mim uma mais-valia enquanto mestrando.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, por todo o conhecimento transmitido e apoio, que proporcionou o desenvolvimento da dissertação aqui apresentada.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, pela infra-estrutura e equipamentos disponibilizados.

Nesta oportunidade, gostaria de agradecer em especial aos meus pais Manuel e Lurdes, à minha irmã Isabel e ao meu cunhado Paulo, pelo incentivo e suporte que propiciaram durante toda a minha jornada académica.

Agradeço a todos os colegas e amigos que de alguma forma contribuíram neste trabalho, proporcionando um ambiente agradável e enriquecedor, tanto neste último ano, como em todo o percurso académico, pela camaradagem, amizade e apoio.

Agradeço também os engenheiros especialistas do Suporte Técnico da Schneider Electric, pela ajuda preciosa no esclarecimento de dúvidas sobre os equipamentos utilizados, sua compreensão e ligação entre eles.

Resumo

Este trabalho tem como principal objectivo o desenvolvimento de uma interface gráfica, numa consola táctil para simulação de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico, actuando no controlo de nível na câmara de carga do aproveitamento.

Com a ajuda de uma consola táctil introduzir-se-á em tempo real o valor da cota desejada para a câmara de carga. Será possível o visionamento, do estado de funcionamento, de todo o aproveitamento, supervisionando e registando dados como os alarmes e acções efectuadas pelo operador.

Efectuou-se inicialmente um estudo sobre a consola e as suas características, bem como os modos de comunicação que usa para interagir com o autómato. Foram também estudados os controladores utilizados pelo autómato para a regulação de nível, e os actuadores que influenciam esta regulação com vista à implementação prática do projecto.

Todos os controladores estão integrados numa rede Ethernet que esta conectada à Internet, possibilitando assim o seu acesso de qualquer sítio com acesso à Web, facilitando a supervisão do pequeno aproveitamento.

Palavras Chave

Autómato Programável, Consola Táctil, Automação, Pequeno Aproveitamento Hidroeléctrico, Controlo de Nível, Câmara de Carga.

Abstract

The main objective for this work is to development of a graphical interface, in a touch-screen graphic terminal, for the simulation of a small hydroelectric power plant, acting on level control of the loading chamber in the recovery.

With the help of a touch-screen graphic terminal, we will introduce in real-time the value for the desired level in the loading chamber. It will be possible the viewing of the operating status of the entire recovery, supervising and record data such as alarms and actions taken by the operator.

It was initially carried out a study of the console features and modes of communication that uses to interact with the PLC. We also studied the drivers used by the controller to regulate the level control, and actuators that influence the regulation in practical implementation of the project.

All controllers are integrated in a Ethernet network that is connected to the Internet, thus enabling their access via Internet from every here, facilitating the supervision of this small power plants.

Keywords

PLC, Touchscreen graphic terminals, Automation, Small Hydroelectric Power Plant, Level Control, Load Chamber.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Palavras Chave	ii
Abstract	iii
Keywords	iii
Índice	iv
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas	xv
CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Motivação.....	1
1.3. Objectivos	2
1.4. Planeamento do Trabalho	2
1.5. Estrutura da Dissertação.....	3
CAPITULO 2 - ABORDAGEM TEÓRICA DO PROBLEMA	4
2.1. Introdução.....	4
2.2. Aproveitamento de Recursos Hídricos	5
2.2.1- Curva de Duração de Caudais	5
2.2.2. Caudal Ecológico.....	7
2.3. Enquadramento Legal	7
2.4. Descrição de um Aproveitamento Hidroeléctrico	9
2.4.1. Tipos de Aproveitamentos Hidroeléctricos.	10
2.5. Projecto Hidroeléctrico	11
2.5.1. Estimativa de Produção	12
2.5.1.1. Potência a Instalar	12
2.5.1.2. Critérios de Selecção da Turbina.....	13
2.5.1.3. Selecção do Gerador	15
2.6. Controlo.....	16
2.6.1. Reguladores de velocidade	17

2.6.2. Equipamento de sincronização e protecção eléctrica	18
2.6.3. Controlo automático	20
2.6.4. Equipamento Auxiliar	21
2.6.4.1 Transformador de serviço	21
2.6.4.2. Fonte de corrente continua para o sistema de controlo	21
2.6.4.3. Registo dos níveis da câmara de carga e do canal de descarga	21
2.6.4.4. Limpa Grelhas	22
2.6.4.5. Válvula de Isolamento e Injetor	23
2.6.4.6. Medidas de Grandezas Mecânicas e Fins de Curso	23
2.6.5 Regulação de Nível	23
2.6.5.1 Reservatórios Genéricos	23
2.6.5.2. Controlo do Nível	24
2.6.5.3. Estabilidade do Nível	24
2.6.6. Reservatórios de Pequenas Centrais Hidroeléctricas (PCH).....	25
2.6.6.1. Reservatório em Regime de Fio de Água	25
2.6.6.2. Caudal de Entrada Envolvido.....	25
2.6.6.3. Caudais de Saída Envolvidos	25
2.6.7. Modelação de um sistema hidráulico	26
2.6.7.1. Circuito de derivação	26
2.6.7.2. Conduta forçada.....	27
2.6.7.3 Turbina.....	28
2.6.7.4. Especificação Diagramas de Blocos de Sistema de Controlo de Nível	30
2.6.7.5. Funções de Transferência	30
2.6.7.6. Diagrama de Blocos Característicos do Sistema	35
2.6.8. Estabilidade	35
2.6.8.1. Análise da Estabilidade do Sistema	36
2.6.8.2. Escolha do tipo de regulador quanto à estabilidade.....	38
2.7. Automatização.....	41
2.7.1. Descrição geral.....	41
2.7.2. Ligação Automática à Rede	42
2.7.3. Paragem Automática da Central	42

CAPITULO 3 - DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	43
3.1. Autómato TSX Premium.....	43
3.1.1. Generalidades	43
3.1.2. Características	44
3.1.3. Estrutura da memória.....	44
3.1.4. Diagnostico	45
3.2. Consola Magelis XBT GT1335	46
3.2.1. Generalidades	46
3.2.2. Características	46
3.2.3. Comunicação	47
3.3. Carta analógica TSX AEY 414.....	48
3.3.1. Generalidades	48
3.3.2. Características	48
3.4. Carta analógica TSX ASY 410	50
3.4.1. Generalidades	50
3.4.2. Características	51
3.5. Módulos discretos	52
3.5.1. Generalidades	52
3.5.2. TSX DEY 16D2.....	53
3.5.3. TSX DSY 16T2.....	54
3.6. Módulo de comunicação TSX ETY PORT	54
3.6.1. Generalidades	54
3.6.2. Características	55
3.7. Hub	55
3.7.1. Características	55
3.8. Rack TSX RKY 8	56
3.9. Sensor ultra-sónico	57
3.9.1. Características	57
3.10. Válvula Proporcional	57
CAPITULO 4 - SOFTWARES	58
4.1. PL7 Pro.....	58

4.1.1. Generalidades	58
4.1.1.1. Ambiente de Programação	58
4.1.1.2. Barra de Ferramentas	59
4.1.1.3. Barra de Estado.....	59
4.1.2. Desenvolvimento de uma Aplicação.....	60
4.1.2.1. Fases de Desenvolvimento.....	60
4.1.2.2. Estruturação dos Programas.....	61
4.1.2.3. Estrutura das Aplicações.....	62
4.1.3. Editor de Configuração	63
4.1.4. Editor de DFB's.....	63
4.1.5. Editor de Variáveis	63
4.1.6. Editor de Programa.....	64
4.1.6.1. Ladder (LD).....	64
4.1.6.2. Lista de Instruções (IL).....	65
4.1.6.3. Texto Estruturado (ST).....	65
4.1.6.4. Grafcet (G7)	66
4.1.7. Editor de Tabelas de Animação	66
4.1.8. Função de Regulação	67
4.1.8.1. Regulação PID.....	67
4.2. Vijeo Designer	70
4.2.1. Generalidades	70
4.2.1.1. Ambiente de programação	70
4.2.2. Desenvolvimento de uma Aplicação.....	71
4.2.2.1. Criar uma Aplicação	71
4.2.2.2. Estrutura das Aplicações.....	72
4.2.3. Editor de variáveis	72
4.2.4. Editor Gráfico	73
4.2.5. Biblioteca de Objectos	73
4.2.6. Editor de alarmes.....	74
4.2.7. Editor de Gráficos	74
4.2.8. Simulador	75

4.2.9. Transferência de Projectos	75
CAPITULO 5 - CONTROLO DE UM PEQUENO APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO	76
5.1. Introdução	76
5.2. Funcionamento da Simulação	76
5.2.1. Arranque	76
5.2.2. Protecção e Monitorização.....	77
5.3. Esquema de Montagem.....	77
5.3.1. Esquema de Ligações	78
5.4. Rede implementada	79
5.4.1. Descrição.....	79
5.4.2. Comunicação com o Autómato	80
5.4.3. Comunicação com a Consola	80
5.5. Configurações no Autómato.....	81
5.5.1 Configuração de Hardware.....	81
5.5.2. Software Desenvolvido no Autómato.....	82
5.5.2.1. Descrição Detalhada do Software	83
5.5.3 Configuração de Comunicação	88
5.6. Configurações na Consola.....	89
5.6.1. Descrição Detalhada dos Painéis.....	89
5.6.2. Configurações de Comunicação	94
5.7. Visualização do Estado do Autómato a Partir da Web	95
5.7.1. Pagina Web	96
5.7.2. Página de índice	96
5.7.3. Página de Segurança	97
5.7.4. Página de Endereço do Servidor http	97
5.7.5. Página de Visualização da Rack.....	97
5.7.6. Página de Editor de Dados	98
5.7.7. Página de Diagnóstico	99
5.7.7.1. “Global Data”	99
5.7.7.2. “I/O Scanning”	99
5.7.7.3. “Messaging”	99

5.7.7.4. “Bandwidth Monitoring”	100
5.7.7.5. “Statistics”	100
5.8. Desenvolvimento e Montagem da Simulação	101
5.8.1. Desenvolvimento	101
5.8.1.1. Construção da Tina	101
5.8.2.2. Suporte e Posição dos Sensores.....	102
5.8.2.3. Atenuador de Turbulência.....	104
5.9. Dados Obtidos da Simulação do Controlo de Nível	106
CAPITULO 6 - CONCLUSÃO	109
6.1. Conclusões.....	109
6.2. Sugestões de Trabalhos Futuros	110
BIBLIOGRAFIA	111

Lista de Figuras

Figura 1 - Amostra de Caudais médios diários de um curso de água.	6
Figura 2 - Curva de duração de caudais.	6
Figura 3 - Exemplo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico.	9
Figura 4 - Diferentes configurações de aproveitamentos hidroeléctricos. 1-Central de fio de água integrado num canal de adubação; 2- Central por fio de água; 3- Central de baixa queda; 4- Central integrada na albufeira.	10
Figura 5 - Esquema matemático para um aproveitamento hidroeléctrico.	11
Figura 6 - Gráfico de selecção do tipo de turbina para um pequeno aproveitamento hidroeléctrico [16].	13
Figura 7 - Principais tipos de turbinas.	14
Figura 8 - Esquema unifilar de uma central eléctrica.	19
Figura 9 - Variações das características de funcionamento de uma turbina ideal.	29
Figura 10 - Diagrama de blocos do sistema de controlo de nível para pequenos aproveitamentos hidroeléctricos.	30
Figura 11 - Regulador PID.	33
Figura 12 - Bloco da função transferência do servomotor.	33
Figura 13 - Bloco da função transferência para a conduta forçada + turbina.	34
Figura 14 - Bloco da função transferência da câmara de carga.	34
Figura 15 - Diagrama de blocos do controlo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico.	35
Figura 16 - Diagrama de blocos para determinação da estabilidade.	35
Figura 17-Diagrama de blocos para $h_{ref}=0$	36
Figura 18 - Lugar geométrico das raízes do sistema para o controlador P+PI e PID. Note-se que só foi possível estabilizar o sistema em (d), pela adição de dois zeros muito proximos do eixo real e dos pólos na origem do sistema em cadeia aberta.	38
Figura 19 - Resposta no tempo a uma entrada em rampa, $qaf = 0,1t$ para diferentes valores de $K'p$, e para seguintes valores de ganho do controlador PI: $Kp=0,225$ e $KI= 0,035$ [1].	41
Figura 20 - Processador TSX P573623M.	43

Figura 21 - Estrutura de memória de um processador, sem carta PCMCIA e com carta PCMCIA.	44
Figura 22 - Painel de diagnóstico do processador TSX P573623.	45
Figura 23 - Magelis XBT GT 1335.	46
Figura 24-Descrição da consola Magelis XBT GT 1335.	47
Figura 25 - Carta analógica TSX AEY 414 e identificação dos vários componentes do módulo.	48
Figura 26 - Diagrama funcional módulo analógico TSX AEY 414 [10].	49
Figura 27 - Terminal de ligação do módulo analógico de entradas.	50
Figura 28 - Diagrama funcional do módulo TSX ASY 410 [10].	51
Figura 29 - Terminal de ligação do módulo analógico de saída.....	52
Figura 30 - Módulos discretos de entrada e saída.	52
Figura 31 - Esquema de ligação do módulo TSX DEY 16D2.....	53
Figura 32 - Esquema de ligação do módulo TSX DEY 16T2.....	54
Figura 33 - Hub de ETHERNET para implementação de redes.	55
Figura 34 - Topologia em estrela à esquerda e topologia em árvore à direita. (DTE são “Data Terminal Equipment”ou seja Equipamentos com terminais de dados).....	56
Figura 35 - Identificação dos vários elementos de uma rack standard.	56
Figura 36 - Ambiente de programação do software PL7 Pro.	58
Figura 37 - Barra de ferramentas do software PL7 Pro.	59
Figura 38 - Barra de estado do software PL7 Pro.	60
Figura 39 - Esquema de desenvolvimento de uma aplicação no PL7 Pro [10]......	61
Figura 40 - Estrutura de uma aplicação no software PL7 Pro.	62
Figura 41 - Editor de configuração do software PL7 Pro.....	63
Figura 42 - Linguagem de contactos (Ladder).	64
Figura 43 - Linguagem em lista de instruções (IL).	65
Figura 44 - Linguagem em texto estruturado (ST).	65
Figura 45 - Linguagem em Grafcet.....	66
Figura 46 - Editor de tabelas de animação.	67
Figura 47 - Ambiente de desenvolvimento do software Vijeo Designer.	70
Figura 48 - Sequência de desenvolvimento de uma aplicação para a consola Magelis.	71

Figura 49 - Janela de navegação do software Vijeo Designer.....	72
Figura 50 - Editor de variáveis do software Vijeo Designer.	72
Figura 51 - Exemplo de algumas animações e objectos presentes na biblioteca do software Vijeo Designer.	73
Figura 52 - Representação dos três tipos de gráficos que se podem criar com o Vijeo Designer. À esquerda o gráfico em tempo real, ao centro o gráfico histórico, à direita o gráfico por parcelas.....	74
Figura 53 - Exemplo de alguns métodos de transferência de projectos.	75
Figura 54 - Esquema de montagem da simulação.	78
Figura 55 - Esquema unifilar das ligações dos módulos analógicos.	78
Figura 56 - Esquema unifilar das ligações dos módulos discretos.	79
Figura 57 - Endereçamento dos elementos da rede interna Netwok (1).	79
Figura 58 - Rede implementada para a simulação do projecto.....	80
Figura 59 - Configuração do hardware para o trabalho de aplicação.....	81
Figura 60 - Configurações nos parâmetros de entradas das cartas analógicas de entrada (em cima), e saída (em baixo).	82
Figura 61- Editor de Programas do software desenvolvido no autómato para a aplicação deste trabalho.	83
Figura 62 - Secção “Arranque_paragem” vai comandar o arranque e paragem da central. Desenvolvida em Linguagem Ladder.....	83
Figura 63 - Secção “Sr0”, subrotina que controla o arranque da turbina. Desenvolvida em texto estruturado.	84
Figura 64 - Secção “Ligação_rede”, comanda a ligação do gerador à rede.	84
Figura 65 - Secção “Controlo_nivel”, controla o nível de água na câmara de carga actuando na válvula de saída.	85
Figura 66 - Secção “Limites_tina”, controla os limites de segurança na câmara de carga. Desenvolvida em Linguagem Ladder.....	85
Figura 67 - Secção “Act_bomba”, comanda o funcionamento da bomba de água. Desenvolvida em texto estruturado. Desenvolvida em texto estruturado.....	86
Figura 68 - Secção “Embalamento”, previne a turbina de embalamento.	86

Figura 69 - Secção “Var_Magelis”, aqui é declarado algumas variáveis que vão ser usadas na comunicação com a consola Magelis.	87
Figura 70 - Secção “Grelha”, comanda o motor de limpeza da grelha de colmatação. Linguagem desenvolvida em Grafcet.	88
Figura 71 - Configurações no módulo de comunicação Ethernet.	88
Figura 72 - Configuração do driver XIP, para transferência de dados para o autómato via Internet.	89
Figura 73 - Painel Principal. Visualização do ambiente geral do aproveitamento.	90
Figura 74 - Painel Controlo. Neste painel encontra-se os comandos principais.	90
Figura 75 - Painel de Gráfico. Painel de visualização em tempo real da altura de água na câmara de carga e do Setpoint pretendido.	91
Figura 76 - Painel com gráfico histórico da evolução do nível de água na câmara de carga. ..	92
Figura 77 - Painel Alarmes. Painel de visualização dos erros e acções ocorridas na central. ...	92
Figura 78 - Painel de Arranque da Central.	93
Figura 79 - Painel dos parâmetros do PID Nível de água, referente ao controlo de nível da água na câmara de carga.	93
Figura 80 - Painel dos parâmetros do PID Arranque turbina, referente ao controlo da rotação da turbina no arranque.	94
Figura 81 - Configuração do driver de identificação da consola Magelis.	94
Figura 82 - Configuração do endereço do equipamento com o qual a consola irá comunicar, neste caso o autómato.	95
Figura 83 - Pagina principal.	96
Figura 84 - Pagina de Índice.	97
Figura 85 - Pagina de visualização da Rack.	98
Figura 86 - Pagina de Editor de dados.	98
Figura 87 - Pagina de diagnóstico Ethernet.	99
Figura 88 - Pagina de estatísticas do módulo de Ethernet.	100
Figura 89 - Vista geral da tina de água construída para a simulação.	102
Figura 90 - Suporte do sensor Ultra-sónico.	103

Figura 91 - Sensor de nível máximo do lado esquerdo, sensor de nível mínimo do lado direito.	103
Figura 92- Sensor ultra-sónico introduzido num tubo a fim de eliminar erros de medida devido à turbulência na superfície da água.	104
Figura 93 - Difusor no fundo da tina.	105
Figura 94 - Pormenor da base da tina, mostrando a grelha perfurada.	105
Figura 95 - Pormenor da entrada e saída de água. Mangueira mais a cima é a entrada de água, a mangueira mais abaixo é a saída.	105
Figura 96 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água, para valores de K_p a 30%, 40% e 100% da escala do controlador.	106
Figura 97 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água, para valores de K_p a 1%, 35% e 50% da escala do controlador.	107
Figura 98 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água num Controlador Proporcional Derivativo (PD) no erro, valores de T_d a 0,1%, 50% e 100% da escala do controlador.	107
Figura 99 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água num Controlador Proporcional Derivativo (PD) na leitura, para valores de T_d a 0,1%, 50% e 100% da escala do controlador.	108

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Descrição do painel de diagnóstico do autômato.	45
Tabela 2 - Definição dos parâmetros PARA.	69

CAPITULO 1 - Introdução

1.1. Enquadramento

Como aumento da preocupação das questões ambientais, bem como a reestruturação do sector eléctrico, vieram revelar a importância das energias renováveis como fonte de energia primária para a produção de energia eléctrica. A optimização da energia eléctrica assume cada vez mais importância, principalmente nos pequenos aproveitamentos hidroeléctricos [1].

A produção de electricidade a partir de energias renováveis implicará, em 2020, uma redução adicional das emissões de 10 milhões de toneladas de CO₂. Adicionalmente, as medidas associadas à eficiência energética evitarão a emissão, segundo estimativas preliminares, de cerca de 10 milhões toneladas de CO₂. Assim, com esta estratégia, Portugal dará passos muito significativos para o cumprimento dos objectivos de redução de emissões a que está comprometido.

Sendo Portugal, um dos países da União Europeia com maior potencial hídrico por explorar e com grande dependência energética do exterior, é necessário definir objectivos para a energia hídrica, dos quais se traduzirão num aumento face à actual potência hidroeléctrica instalada. Para alcançar tais objectivos é, pois, necessário realizar um conjunto de investimentos em aproveitamentos hidroeléctricos.

Neste enquadramento há que continuar a desenvolver novas soluções para a utilização dos recursos hídricos, recorrendo à tecnologia existente para a construção de novos aproveitamentos e melhoramento dos existentes.

1.2. Motivação

Os pequenos aproveitamentos hidroeléctricos, vulgarmente designadas por mini-hídricas, estiveram, na sua origem, ligadas à necessidade de autoprodução de energia eléctrica por parte de empresas industriais que desse modo encontravam uma fonte energética alternativa a uma rede pública de insuficiente abrangência e fiabilidade [2].

No entanto as necessidades foram evoluindo, a rede pública passou a dar novas garantias, com custos acessíveis, e os baixos rendimentos dessas mini-hídricas fizeram com que, em muitos casos, desaparecesse o interesse pela manutenção das mesmas.

A situação de abandono estava generalizada quando, nos anos 70, a eclosão da crise petrolífera veio criar novas condições propícias à renovação do interesse pela exploração das

mini-hídricas. Devido aos custos da energia eléctrica subiram em flecha, foi-se estabelecendo, até ao nível da opinião pública, a necessidade de se explorarem fontes de energia renováveis. Foram aí que apareceram, por parte do Estado, os primeiros incentivos à autoprodução de energia, contemplando naturalmente a energia hídrica.

Muitos destes aproveitamentos possuem sistemas de comando e produção de energia obsoletos, não conseguindo obter rentabilizações favoráveis à sua utilização. A fim de estes pequenos aproveitamentos hidroeléctricos se tornarem competitivos, estes têm de ser optimizados de forma a poderem trabalhar sem a existência de pessoal. Alterações como sistemas de controlo automatizado à distância, e a utilização de geradores assíncronos foram algumas das melhorias introduzidas.

1.3. Objectivos

Neste trabalho pretende-se adquirir um maior conhecimento na área da automação e controlo com interface gráfica de processos industriais. Ostentando uma vertente prática este trabalho apresentasse como uma mais-valia para a aprendizagem e conhecimento do mundo da indústria e automação industrial.

Como objectivos, nesta dissertação pretende-se o desenvolvimento de uma interface gráfica para o controlo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico. Este controlo será feito localmente através da consola táctil, bem como através da Internet num local distante da central. São abordados vários pontos no controlo de uma Mini-Hídrica, mas com principal incidência na câmara de carga e na ligação à rede da energia.

Na realização do trabalho, foram utilizados como principais equipamentos, um autómato Modicon Premium e uma consola táctil Magelis.

1.4. Planeamento do Trabalho

Para este trabalho ser efectuado, foi delineado um plano de trabalhos a fim de levar a cabo a realização deste projecto.

Inicialmente foi feito um levantamento do material e dos aparelhos necessários para a realização e simulação deste projecto. Material este, que é composto por um autómato, uma consola táctil, um módulo de comunicação Ethernet, um Hub de comunicações, módulos de entrada e saídas digitais, módulos de entrada e saída discretos, sensores, actuadores e uma tina de simulação da respectiva câmara de carga.

Com base neste material e o tempo disponível para a execução, foi feito o seguinte plano de trabalho:

- Estudo e compreensão do funcionamento dos vários módulos pertencentes ao estrutura do autómato.
- Estudo e compreensão do funcionamento da consola Magelis.
- Estudo e compreensão dos vários sensores e actuadores para a simulação do projecto.
- Estudo e compreensão dos softwares utilizados para a programação do autómato e da consola.
- Estudo do funcionamento do controlo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico.
- Estudo dos modos de comunicação entre a consola e o autómato, compressão de redes e protocolos de comunicação.
- Desenvolvimento da programação para o autómato, e da interface gráfica para a consola.
- Montagem, simulação, e posteriormente a recolha de resultados.

1.5. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é estruturada em seis capítulos, e será desenvolvida para que no final o leitor possa ter um melhor entendimento sobre o funcionamento do controlo de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos, sobre os softwares utilizados, tipos de linguagens e métodos de programação, sobre desenvolvimento de interfaces gráficas e do funcionamento de interfaces de comunicação através de consolas tácteis.

No capítulo 2 realiza-se uma abordagem teórica do problema, onde inicialmente se falara dos pequenos aproveitamentos hidroeléctricos, sua constituição, o seu enquadramento legal e controlo a todos os níveis.

No capítulo 3 serão apresentados os principais equipamentos utilizados na realização deste projecto, descrevendo as suas características.

No capítulo 4 serão apresentados os softwares de programação do autómato e da consola táctil, onde será descrito o seu modo de programação, ambientes de trabalho, tipos de variáveis e linguagens de programação.

No capítulo 5 será realizada a simulação e aplicação prática do estudado nos capítulos anteriores. Explicação do funcionamento da aplicação, descrição da programação efectuada para o autómato e para a consola, a rede de comunicação e o esquema de montagem.

Finalmente no capítulo 6 serão tiradas as conclusões, dificuldades da simulação efectuada e a sugestão para possíveis trabalhos futuros.

CAPITULO 2 - Abordagem Teórica Do Problema

2.1. Introdução

Designam-se de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos, os aproveitamentos de potência inferior a 10 MW. Este limite é geralmente usado internacionalmente como fronteira de separação entre as pequenas e as grandes centrais hidroeléctricas. As primeiras, devido ao seu impacto ambiental diminuto, são consideradas centrais renováveis; as segundas, embora usem um recurso renovável, produzem efeitos não desprezáveis sobre o ambiente, pelo que a sua classificação como centrais renováveis é problemática.

O projecto de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico não deve ser concebido como uma cópia em escala reduzida de uma instalação de elevada potência, esta requer um grau apreciável de inovação, a fim de reduzir custos, garantindo uma fiabilidade adequada e simplicidade operativa.

No domínio da engenharia civil os esforços foram dirigidos para a concepção de sistemas compactos e simples, de modo a reduzir os trabalhos no local. A engenharia mecânica orientou-se para o projecto de turbinas normalizadas, com rendimentos aceitáveis em diversas condições de funcionamento, tendo em atenção que era no domínio das quedas baixas que as oportunidades se afiguravam mais prometedoras. No âmbito da engenharia electrotécnica as contribuições repartiram-se, essencialmente, em duas áreas: nos conversores electromecânicos, com especial relevo para a utilização da máquina assíncrona como gerador, e na automatização total das instalações, que permite a sua exploração sem a existência de pessoal [4].

A aposta nas energias renováveis, para além da produção de energia, gera um conjunto de externalidades positivas ligadas ao ambiente, à criação de riqueza e emprego, e ao equilíbrio da balança comercial. Estas externalidades serão progressivamente internalizadas no cálculo das tarifas de forma a manter um custo da energia competitivo. Será criado um fundo de equilíbrio tarifário que contribua para gerir o impacto da produção renovável nas tarifas. As receitas deste fundo advirão, entre outras, de parte das receitas da venda das licenças de emissão de CO₂ a adquirir pelo sector eléctrico, de limites à remuneração das centrais hídricas nos anos de baixa hidraulicidade, elevados preços e outras receitas que lhe sejam legalmente atribuídas [3].

Outro dos vectores da sustentabilidade económica é a introdução de mais concorrência no sector, que passará também pela eliminação das tarifas de venda ao consumidor final em conformidade com as directivas europeias. Este processo será concretizado de forma gradual em articulação com as dinâmicas de mercado, acautelando a competitividade da indústria

nacional e a introdução de uma tarifa social regulada para os consumidores domésticos mais vulneráveis.

O aumento da produção de energia renovável, nomeadamente da produção eólica, exige uma gestão pró-activa da sustentabilidade técnica do sistema. Com efeito, a maior concentração da produção eólica nos períodos de menor consumo obrigam à existência de soluções que alisem o diagrama de consumo.

Numa primeira fase, esse alisamento será conseguido através do aumento da potência hídrica com capacidade reversível, que ajudará a integrar o aumento da produção eólica. A médio prazo, serão os projectos das redes inteligentes e da mobilidade eléctrica que contribuirão para a transferência de consumos de períodos de cheia e de ponta para períodos de vazio.

2.2. Aproveitamento de Recursos Hídricos

Um recurso hídrico pode ser aproveitado, sempre que um caudal de água cai de um nível superior para um nível inferior.

Mas para que consiga gerar electricidade estes parâmetros têm de ter valores apropriados para a sua rentabilização. Para isso efectua-se vários estudos hidrológicos.

O Planeamento para a exploração de um troço de rio ou de um local específico é uma das tarefas mais difíceis que enfrenta a engenharia, uma vez que há um número ilimitado de maneiras práticas em que um rio ou local pode ser explorado.

2.2.1- Curva de Duração de Caudais

O caudal que passa numa determinada secção de um rio é uma variável aleatória com repartição não uniforme durante o ano. Assim os estudos hidrológicos só podem fornecer probabilidades de ocorrência dos caudais afluentes, a uma determinada secção do curso de água, ao longo do ano.

A principal tarefa da análise hidrológica destina-se à obtenção da curva média de duração de caudais diários, normalmente designada por curva de duração de caudais. Para a construção de uma curva média de caudais são necessários vários anos. Quanto maior for o período de amostragens maior será o seu significado.

Existem duas maneiras de expressar a variação de caudal do rio ao longo do ano: através dos caudais médios anuais e da curva de duração de caudais, como ilustram as Figura 1 e Figura 2.

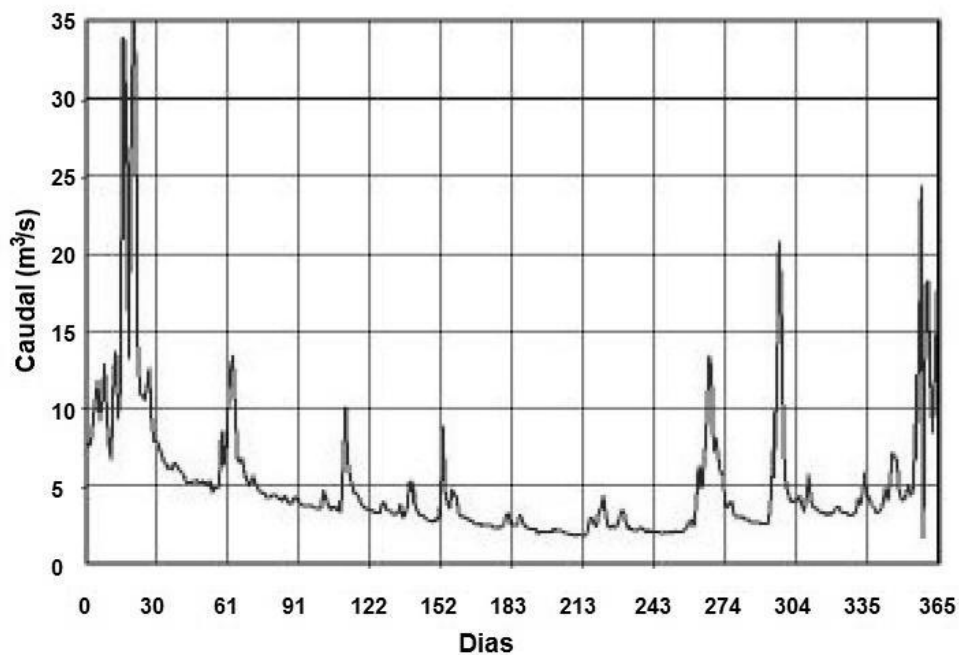


Figura 1 - Amostra de Caudais médios diários de um curso de água.

O gráfico dos caudais médios diários é fácil de compreender, simplesmente mostra a variação do caudal diário ao longo do ano. No entanto a curva de duração de caudais é mais útil no cálculo da energia disponível para uma central hidroeléctrica.

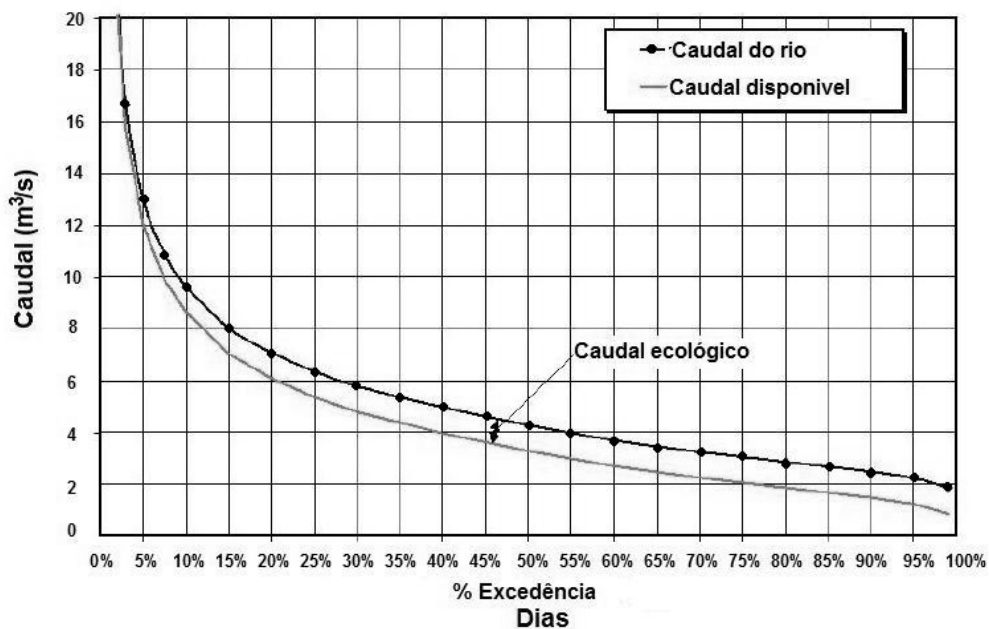


Figura 2 - Curva de duração de caudais.

A construção da curva de duração de caudais resulta da ordenação monotonamente decrescente dos valores da serie cronológica dos caudais médios anuais [4].

2.2.2. Caudal Ecológico

Quando o aproveitamento hidroeléctrico possui uma derivação no rio, para uma câmara de carga, a fauna piscícola pode ficar seriamente afectada. Isto acontece quando, em períodos de menores caudais, a totalidade do caudal do rio é desviada.

Para evitar esta situação, a autorização para desviar a água vem sempre acompanhada com a obrigação de manter um certo caudal, reservado para o curso do rio que fica entre o desvio e a retoma da água. Este caudal é conhecido por caudal ecológico.

Para efeitos de contabilização de energia produzível este factor é importante pois nem todo o caudal pode ser aproveitado, como mostra a curva de duração de caudais. Para a delimitação das áreas de exploração é levada em conta a linha que está mais abaixo, a diferença entre as duas representa o valor do caudal ecológico.

2.3. Enquadramento Legal

Com a publicação do Decreto-Lei n.º189/88, de 27 de Maio, foi criada a primeira legislação orientada para a promulgação da produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis, combustíveis nacionais ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos, bem como da co-geração. Representou um marco fundamental na história da produção independente em Portugal. Esta lei foi complementada e actualizada pelas Portarias Regulamentares n.º 445/88, de 8 de Julho, e n.º 958/89, de 28 de Outubro, abrindo as portas para a actividade de produção independente de energia eléctrica a pessoas singulares ou colectivas de direito público ou privado, desde que o estabelecimento industrial de produção de energia não ultrapasse a potência aparente instalada de 10 MVA.

O referido Decreto-Lei sofreu posteriores alterações através do Decreto-Lei n.º 313/95, de 24 de Novembro, Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio. O quadro regulamentar dos procedimentos administrativos inerentes ao processo de utilização de água para os aproveitamentos hidroeléctricos no âmbito do citado Decreto-Lei n.º 189/88 foi definido pela portaria n.º 445/88, de 8 de Julho.

A Portaria n.º 958/89, de 28 de Outubro, veio esclarecer e precisar alguns dos artigos da portaria anterior. A publicação do Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro, veio introduzir alterações significativas no regime de licenciamento das Pequenas Centrais Hidroeléctricas (PCH). No entanto, por não ter sido revogada na totalidade a legislação específica, a aplicação deste Decreto-Lei ocasionou problemas de natureza interpretativa. Face a estas dificuldades os Ministérios da Economia e do Ambiente, por Despacho conjunto de Maio de 1996, criaram um grupo de trabalho destinado a diagnosticar os aspectos condicionantes do processo de licenciamento.

O ministério da economia procedeu em 1999 à revisão do Decreto-Lei n.º 189/88 dando origem ao Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio, o qual contempla alguns aspectos sugeridos no relatório do Grupo de Trabalho [5] [6].

Em 2001, a publicação do Decreto-Lei n.º 339-C/2001, de 29 de Dezembro, introduziu alterações ao Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de Maio, o tarifário de venda de energia de origem renovável foi actualizado, com o objectivo de estabelecer uma remuneração diferenciada por tecnologia e regime de exploração, com destaque para as tecnologias renováveis. Esta regulamentação mantém a obrigação de compra, por parte da rede pública, de toda a energia produzida pelos PRE-R (Produtores em Regime Especial que usam Recursos renováveis) [4].

A produção independente de energia eléctrica, na sua componente hídrica, foi regulamentada através da Portaria n.º 445/88, de 8 de Julho, com as alterações introduzidas pela Portaria n.º 958/89, de 28 de Outubro, no quadro do Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio, relativo à actividade de produção de energia eléctrica por pessoas singulares ou colectivas de direito público ou privado. O referido diploma foi entretanto revisto pelos Decretos-Lei n.º 313/95, de 24 de Novembro, e 168/99, de 18 de Maio e, recentemente, pelo Decreto-Lei n.º 339-C/2001, de 29 de Dezembro.

No Despacho conjunto n.º 51/2004, considerando a adopção da Directiva n.º 2001/77/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Setembro, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis (FER) no mercado interno da electricidade, que veio consagrar o reconhecimento da prioridade atribuída pela União Europeia e pelos Estados membros à promoção do aumento da contribuição deste tipo de fontes para a produção de energia eléctrica.

O artigo 91.º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, estabelece as regras aplicáveis à regularização da atribuição dos títulos de utilização do domínio público hídrico à entidade concessionária da Rede Nacional de Transporte de Electricidade (RNT) e às empresas titulares aos centros electroprodutores hídricos relativos aos direitos de utilização do domínio público hídrico afectos aos respectivos aproveitamentos hidroeléctricos que lhes tenham sido reconhecidos pelos artigos 6.º e 7.º do Decreto-Lei n.º 183/95, de 27 de Julho.

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 182/2008 de 4 de Setembro, foi lançado o Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH), na sequência de uma avaliação ambiental de planos e programas, vulgarmente designada avaliação ambiental estratégica. A implementação deste Programa pelo Estado passa pela realização de procedimentos concursais, nomeadamente, ao abrigo do disposto na Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, e do Decreto-Lei n.º 226 -A/2007, de 31 de Maio, para a selecção das entidades privadas que com ele colaboram.

O presente Decreto-Lei estabelece o regime de implementação do Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH) a que se refere o artigo 93.º do

Decreto -Lei n.º 226 -A/2007, de 31 de Maio, na redacção dada pelo Decreto-Lei n.º 391-A/2007, de 21 de Dezembro.

2.4. Descrição de um Aproveitamento Hidroeléctrico

Num aproveitamento hidroeléctrico, onde se converte a energia potencial da água (de posição e de pressão) em energia eléctrica, podem distinguir-se três conjuntos de órgãos: os que se destinam à conversão da energia da água em energia mecânica; os que se destinam à conversão da energia mecânica em energia eléctrica e entrega à rede; os que se destinam ao comando, vigilância, medição e regulação dos órgãos anteriores.

Nestas generalidades são análogos os aproveitamentos hidroeléctricos de pequena e de grande potência. O que, na raiz, leva a usar soluções específicas nos aproveitamentos de pequena potência é ser também pequena a produção de energia.

A conversão de energia potencial da água em energia mecânica faz-se no circuito hidráulico; bacia de retenção criada pelo açude ou pela barragem; canal de adubação; câmara de carga; conduta forçada; turbina e canal de restituição.

A conversão da energia mecânica em energia eléctrica faz-se no gerador; o transformador faz a adaptação entre as tensões do gerador e da rede e atenua algumas interações indesejáveis entre a instalação de produção e a rede receptora. Do transformador parte o ramal até ao ponto de interligação.

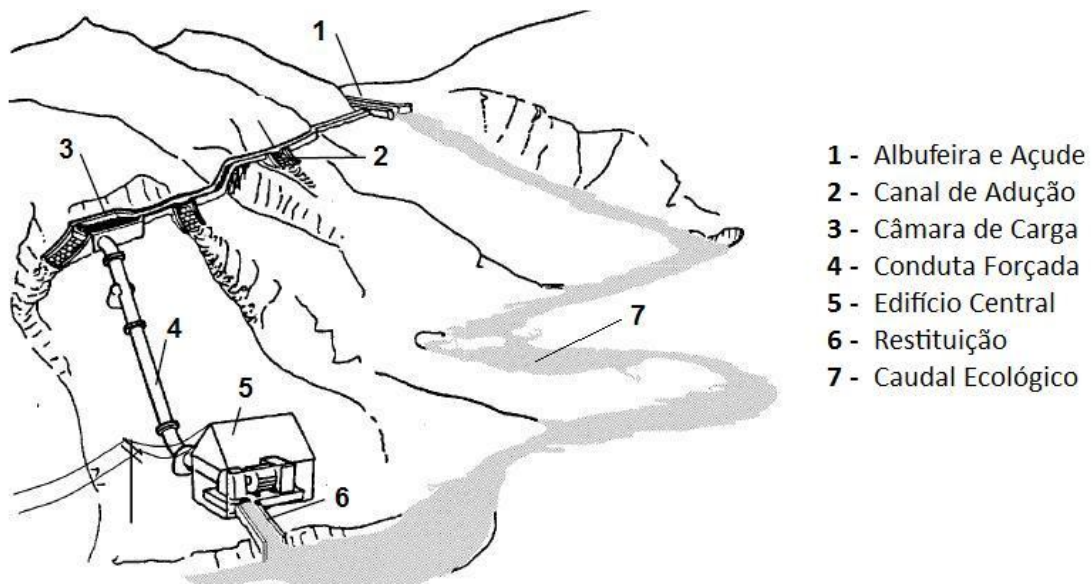


Figura 3 - Exemplo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico.

Os órgãos de comando, vigilância, medição e regulação são numerosíssimos e deles depende, em boa parte, o aproveitamento óptimo da energia que flui. Entre estes órgãos avultam

equipamentos de natureza diversa que operam automaticamente. As protecções que, sob formas rudimentares, já existiam nas primeiras centrais, incluem-se entre os órgãos que operam automaticamente.

Nem em todas as centrais existe a totalidade dos órgãos que se descreveram. Todavia grande parte dos pequenos aproveitamentos hidroeléctricos é constituído como se descreveu, embora os diversos componentes tenham desenvolvimentos muito variáveis.

2.4.1. Tipos de Aproveitamentos Hidroeléctricos.

O objectivo de um sistema de energia hidroeléctrica é converter a energia potencial de uma massa de água que flui num rio com uma certa queda (denominado como o altura de queda), em energia eléctrica, onde a central está localizada.

Na Figura 4 mostra alguns exemplos de diferentes tipos de configurações.

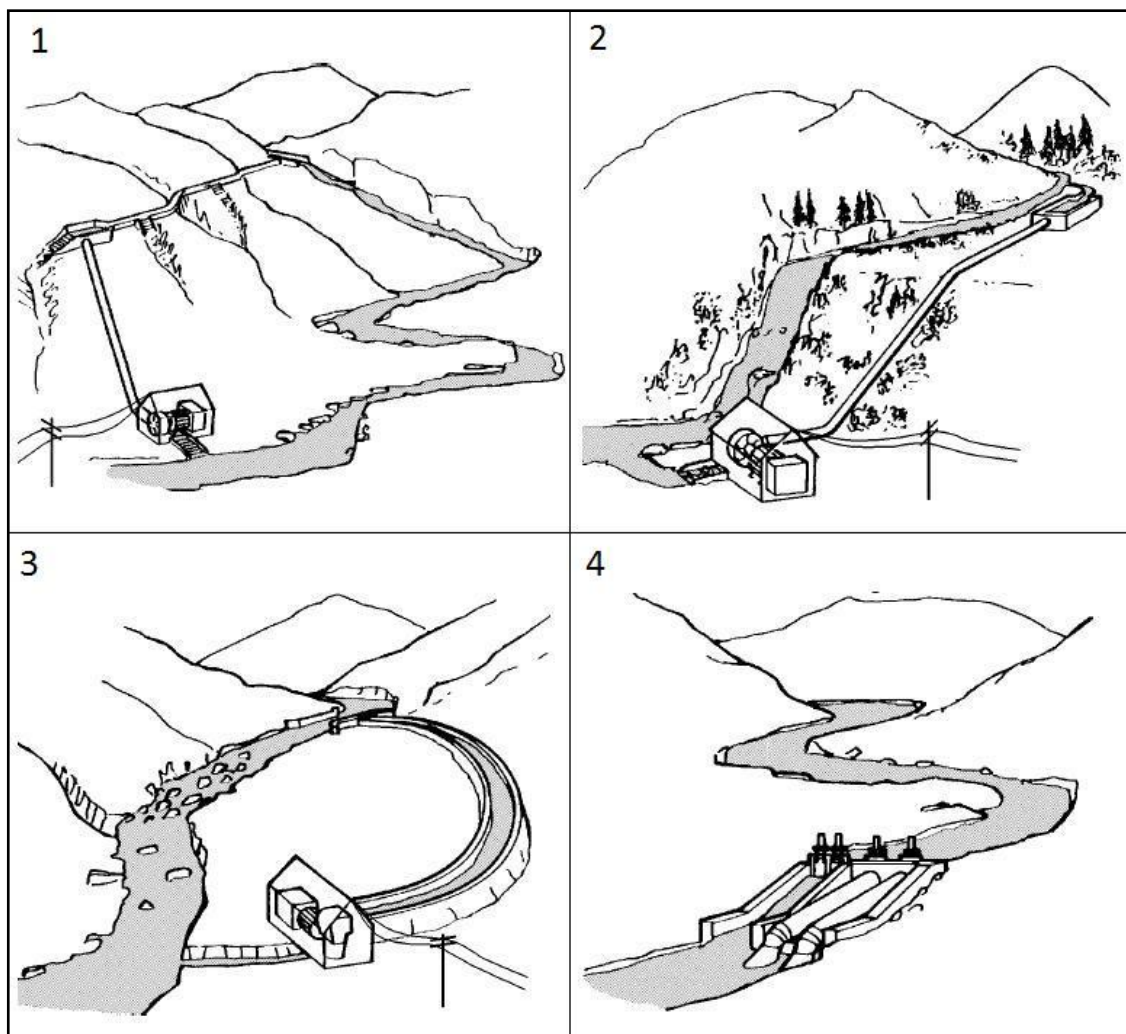


Figura 4 - Diferentes configurações de aproveitamentos hidroeléctricos. 1-Central de fio de água integrado num canal de adubação; 2- Central por fio de água; 3- Central de baixa queda; 4- Central integrada na albufeira.

As centrais podem ser definidas como:

- Configurações com a central de produção, localizada na base de uma barragem
- Configurações integradas num canal de adubação.
- Configurações de aproveitamento por fio de água.

2.5. Projecto Hidroeléctrico

A energia potencial da água é convertida em energia mecânica na turbina. Esta potência P [W], que pode ser aproveitada numa central é dada pela seguinte equação:

$$P = \gamma \times Q \times h_u \times \eta \quad (1)$$

Onde:

- γ - Peso volumétrico da água, $\gamma = 9810$ [N/m³]
- Q - Caudal de água que passa pela central [m³/s]
- h_u - Altura de queda útil [m]
- η - Rendimento da central [%]

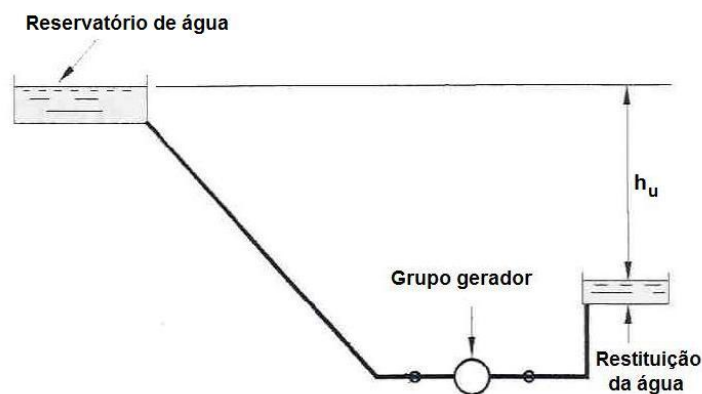


Figura 5 - Esquema matemático para um aproveitamento hidroeléctrico.

Para além do peso volumétrico, que pode ainda ser expresso em [kN/m³] para assim obtermos a potência em [kW], nenhuma das restantes grandezas que entram na equação são valores constantes. Esta característica faz com que, para o processo de escolha da potência a instalar bem como a sua repartição pelo número de grupos, seja necessário um estudo complexo acerca do problema. Apesar disso não podemos deixar de ter em mente que o limite máximo de potência que pode ser colocado neste tipo de exploração não pode ultrapassar os 10 [MW].

2.5.1. Estimativa de Produção

De uma forma mais simplificada, para realizar uma análise tendo em vista a determinação da potência e o número de grupos a instalar na fase de anteprojecto, é usual recorrer a critérios mais simples.

A quantificação da energia que se estima produzir através da construção do aproveitamento hidroeléctrico, depende do valor da potência a instalar e do período de mobilização dessa potência instalada, ou seja, o número de horas que se estima para o funcionamento da central. Por seu lado, a definição da potência é dependente do valor da queda, ou desnível topográfico conseguido para a implantação da obra e do caudal, grandeza esta que é variável com o tempo. Deve-se assim estudar com adequado rigor a conjugação destas duas variáveis, de forma a garantir que a sua combinação proporcione valores de potência e de energia úteis que se justificam, do ponto de vista económico.

2.5.1.1. Potência a Instalar

Em instalações de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos ligadas à rede nacional, a hipótese inicial deverá ser a instalação de um único grupo turbina - gerador.

Recorrendo à curva de duração de caudais, a turbina é dimensionada para um caudal nominal turbinado igual ao que é excedido em cerca de 15% (55 dias) a 40% (146 dias) dos dias em ano médio. A escolha desta percentagem depende da forma da curva de duração de caudais, e em grande parte, da experiência do projectista.

Definido o caudal nominal (de projecto) e tomando, nesta fase, como constantes a altura de queda e o rendimento, a potência é calculada pela equação (1). Da equação (1) tiramos uma expressão, muito vulgarizada para o cálculo da potência eléctrica, em kW, que é:

$$P = 8 \times Q_n \times h_b \quad (2)$$

Q_n (m^3/s) é o caudal nominal e h_b (m) é a altura bruta de queda.)

O rendimento global, que depende do caudal, é o produto dos rendimentos do circuito hidráulico, da turbina, do gerador e do transformador, e ainda inclui os consumos de energia nos equipamentos auxiliares. Especular 80% para valor médio deste rendimento global, parece ser optimista para os pequenos aproveitamentos, nestes casos, será mais realista contar com valores entre 60 a 70%, portanto, o coeficiente da equação (2) deverá ser reduzido para 6 ou 7 [4][7]. Uma expressão prática de cálculo a usar para determinar a potência eléctrica (em kW) numa central mini-hídrica é, portanto:

$$P = 7 \times Q_n \times h_b \quad (3)$$

2.5.1.2. Critérios de Selecção da Turbina

A turbina é o principal componente de uma central hidroeléctrica, transformando a energia contida na água, em energia mecânica. A mais adequada para um projecto depende das condições topográficas e hidrológicas, sendo o caudal e a queda de água a mais importante [8].

Do custo total do empreendimento, a turbina hidráulica corresponde a uma parcela muito significativa do custo de uma central mini-hídrica (pode chegar até 50%), pelo que a sua selecção criteriosa se reveste de particular interesse.

A escolha da turbina resulta da interacção de três parâmetros - queda, caudal e potência.

A Figura 6 ilustra uma tabela gráfica usada na selecção de turbinas para pequenos aproveitamentos hidroeléctricos.

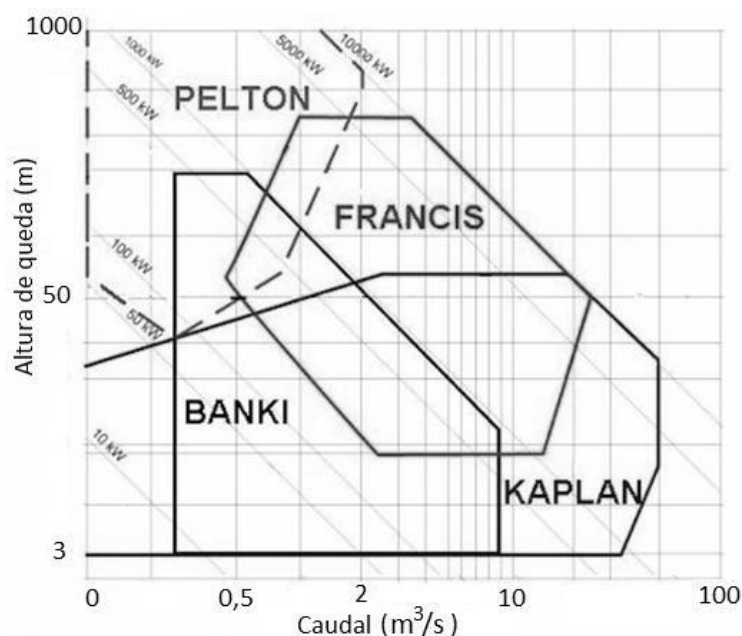


Figura 6 - Gráfico de selecção do tipo de turbina para um pequeno aproveitamento hidroeléctrico [16].

Como uma turbina funciona entre um caudal máximo e um caudal mínimo, pode ser vantajoso instalar várias turbinas menores em vez de uma turbina de grande porte. As turbinas são iniciadas sequencialmente de modo que todas as turbinas em operação, operem com regimes de descargas nominal, logo terá maior eficiência.

A escolha final entre uma ou mais unidades ou entre um tipo de turbina será o resultado de um cálculo iterativo tendo em conta os custos de investimento e a produção anual [9].

Na Figura 7 é possível ver alguns dos principais tipos de turbinas usados em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos.

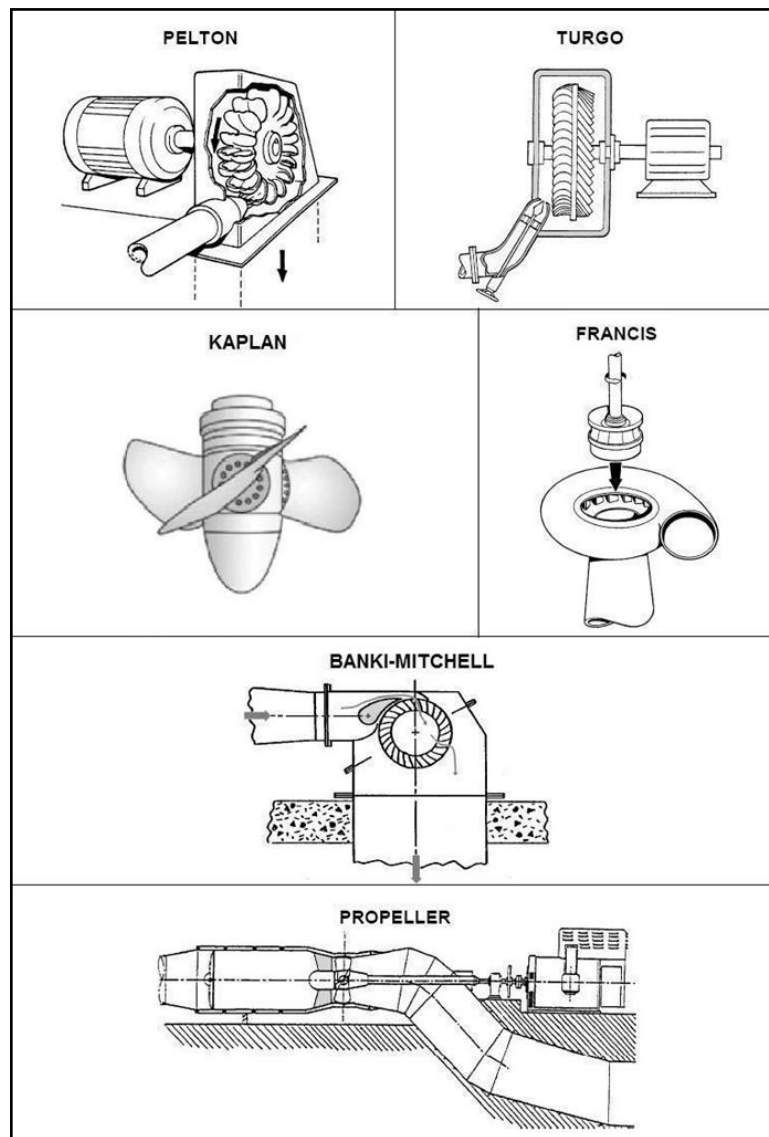


Figura 7 - Principais tipos de turbinas.

Existem duas categorias principais de turbinas: as turbinas de acção ou impulso, utilizadas para caudais baixos e quedas úteis elevadas; e as turbinas de reacção, utilizadas em quedas úteis pequenas ou médias e caudais elevados.

No primeiro caso a turbina é actuada pela água à pressão atmosférica, no segundo caso as pás da turbina são actuadas por água sob pressão que vai variando ao longo de uma conduta.

Dentro da categoria de turbinas de acção estão mais vulgarizadas as turbinas Pelton e Banki (para mini-hídricas), na categoria de turbinas de reacção encontram-se as turbinas Kaplan e Francis.

2.5.1.3. Selecção do Gerador

Os geradores transformam a energia mecânica em energia eléctrica. A selecção do gerador depende das especificações impostas à turbina, no que diz respeito a rendimento, velocidade nominal e de embalamento, constante de inércia, tipo de regulação, entre outras.

Nas primeiras construções de centrais hidroeléctricas apenas se usavam geradores de corrente contínua, actualmente, esse tipo de geradores caiu em desuso. São agora utilizados geradores trifásicos de corrente alternada. [9]

Em função da rede eléctrica que deve fornecer energia, existe a possibilidade de escolher entre dois tipos de geradores, geradores síncronos e assíncronos.

Os geradores síncronos estão equipados com um sistema de excitação em corrente contínua associado a um regulador de tensão, de forma que, antes de se estabelecer a ligação a rede, geram energia eléctrica com a mesma tensão, frequência e ângulo de desfasamento, assim como a energia reactiva requerida pelo sistema uma vez conectados.

Os geradores assíncronos, são simples motores de indução com o rotor em gaiola de esquilo, sem a possibilidade de regulação da tensão, tendo uma velocidade de rotação directamente relacionada com a frequência da rede em que estão ligados. Dessa rede extraem a sua corrente de excitação e dela é absorvida a energia reactiva que necessita para a sua própria magnetização. Esta energia reactiva pode ser compensada, se considerar conveniente, com a ligação em paralelo de condensadores. Não podem gerar corrente quando se encontram desconectados da rede, dado que são incapazes de fornecer a si próprios a corrente de excitação.

O gerador assíncrono constitui, em geral, a solução técnica e economicamente preferível, devido às suas conhecidas características de robustez, fiabilidade e economia. Dispensa um sistema de excitação, sendo esta fornecida pela própria rede à qual está ligado. A consequência é que o gerador assíncrono absorve energia reactiva, que deve ser localmente compensada por meio de uma bateria de condensadores, para evitar o inconveniente trânsito de energia reactiva através da rede. Esta solução é mais apropriada para os pequenos aproveitamentos hidroeléctricos.

Nas centrais de potência mais elevada são exigidas soluções técnicas mais elaboradas e os aspectos económicos são menos críticos, pelo que o gerador síncrono é normalmente o conversor eleito.

2.6. Controlo

As turbinas são dimensionadas e escolhidas para uma altura de queda e um caudal pré-determinado. Para qualquer variação destes parâmetros deverá haver uma compensação, abrindo ou fechando os dispositivos de controlo de caudal, tais como válvulas ou comportas. Esta compensação é feita a fim de manter constante, a potência de saída para a rede, ou o nível da água na câmara de carga ou o caudal que atravessa a turbina.

Em aproveitamentos que fornecem energia a redes isoladas, o parâmetro a controlar é a velocidade de rotação da turbina, relacionada directamente com a frequência. Inicialmente existem duas formas, para regular a velocidade dos grupos:

- Variar o caudal à entrada da turbina
- Dissipar o excesso de potência em bancos de resistências eléctricas

Ao aumentar a demanda de potência, o gerador entra em sobrecarga e trava a turbina. A forma mais convencional de regulação de velocidade, e por conseguinte a frequência, é através do aumento do caudal que entra na turbina.

Através de um sensor, mecânico ou electrónico, detecta-se a variação de velocidade e ordena um servomotor que modifique a abertura das pás do distribuidor, para assim desta forma admitir mais água, aumentando desta forma a potência hidráulica, com a finalidade de a turbina poder satisfazer o aumento da demanda. Da mesma forma, ao diminuir a carga, a turbina acelera e o sensor envia um sinal do aumento da velocidade, de forma a fechar as pás do distribuidor. Quando se tratam de turbinas Pelton, ao invés das pás do distribuidor, estas possuem um sistema muito eficaz de bico injector, pois este permite variar o caudal de forma a não variar a velocidade.

No caso de um gerador assíncrono ligado à rede de distribuição, da qual retira a energia reactiva para gerar o seu próprio magnetismo, este encarrega-se de regular a frequência, logo não é necessário instalar um regulador de velocidade. Não obstante, em determinadas circunstâncias, por exemplo, quando se abre por qualquer razão o disjuntor de conexão com a rede, tem a tendência ao embalamento com grave risco para a integridade de todo o grupo. Desta forma é necessário interromper o fornecimento de água à turbina, em tempo suficientemente curto para evitar o embalamento, no entanto, não pode ser muito curto, para que não se dê lugar a um golpe de aríete¹, na conduta forçada.

A segunda forma é a turbina funcionar com um caudal constante e gerando uma potência eléctrica constante. Se o sistema tem uma diminuição da demanda, a turbina tende a

¹ Denomina-se por variações de pressão decorrentes de variações de vazão, causadas por perturbações tais como abertura ou fecho de válvulas, falhas mecânicas, etc. Durante o fenómeno, a pressão poderá atingir níveis indesejáveis, que poderão causar sérios danos como rupturas por sobrepressão, avarias em bombas e válvulas, ou colapso de tubos devido a vácuo.

embalar, o sensor electrónico ao detectar o aumento da frequência, procede-se à dissipação a energia em excesso num banco de resistências, mantendo constante a demanda.

2.6.1. Reguladores de velocidade

Um regulador de velocidade é constituído em essencial por um sensor que detecta qualquer variação da velocidade pré-definida, e um dispositivo que amplifica o sinal transmitido pelo sensor, de forma a ordenar ao servomotor que accione os mecanismos que controlam a passagem do caudal na turbina, mantendo constante a velocidade e portanto a frequência. Numa turbina Francis, pode-se controlar o caudal, fechando as pás do distribuidor, neste caso os mecanismos do servomotor tem que ser obrigatoriamente muito robustos, para desta forma poder vencer a reacção da água e o atrito mecânico. No caso de uma turbina Pelton o problema é mais sensível, não só porque o sistema do bico permite fechar o injector com muito pouco esforço, mas também com o accionamento de um reflector, impedindo que a água atinja as pétalas, sem se proceder o ao encerramento do injector.

O servomotor, em geral um cilindro hidráulico cujo êmbolo, consoante seja o tipo de turbina, está ligado mecanicamente às pás direccionais ou ao injector, é alimentado por uma central hidráulica, composta por um cárter, uma bomba accionada por um motor eléctrico, criando a pressão no óleo do sistema, um reservatório de óleo sob pressão e uma válvula de controlo.

Os reguladores podem ser mecânicos, mecânico-hidráulicos ou electro-hidráulicos, consoante a precisão e a sofisticação que se deseje.

Um regulador electromecânico, possui um sensor electrónico, que mede permanentemente a frequência, eventualmente a tensão, transmitindo o sinal para um sistema de controlo para uma posterior comparação com o valor pré definido. Se o valor divergir do estipulado, o controlador emite um sinal de erro, por superior ou inferior, que por sua vez é amplificado e enviado ao servomotor para actuar com o sentido desejado.

Todos os sistemas de regulação actuam por reacção, corrigindo em um ou outro sentido a posição dos distribuidores, o que provoca uma certa instabilidade no grupo. Nos sistemas mecânico-hidráulicos esta situação corrige-se intercalando um amortecedor hidráulico que retarda a abertura das válvulas piloto. Nos sistemas electro-hidráulicos chega-se a um grau de sofisticação muito superior, de forma que a correcção pode ser proporcional, integral ou derivativa (PID), dando lugar a um mínimo de variação do processo de regulação.

Para controlar a velocidade da turbina, regulando a admissão de água, necessário que os componentes rotativos tenham uma determinada inércia. Quando se abre o interruptor que liga o gerador à rede, a potência disponível utiliza-se para acelerar o volante, de modo que no momento de ligação, o volante de inércia, ao desacelerar fornece uma potência adicional.

2.6.2. Equipamento de sincronização e protecção eléctrica

Em todos os países, os regulamentos para o fornecimento de electricidade, obrigam as companhias distribuidoras a manter, entre limites muito estreitos, a segurança e qualidade de serviço. O produtor independente, se a sua central está ligada à rede, tem de operar de forma que a companhia distribuidora possa cumprir as suas obrigações, para isso nos terminais do gerador e na linha de saída instalam-se dispositivos que monitorizam o funcionamento do equipamento, protegendo gerador, ligando-o à rede ou isola-lo da mesma, em caso de avaria.

A monitorização leva-se a cabo mediante equipamentos mais ou menos sofisticados para medir a tensão, intensidade, frequência em cada uma das três fases, a energia produzida pelo gerador, seu factor de potência e eventualmente o nível da água na câmara de carga. A tensão e intensidade da corrente monitorizam-se com ajuda de transformadores de potência e de corrente para reduzir o seu valor, geralmente muito elevado, para níveis mais manejáveis.

Para que os diferentes sistemas de protecção possam cumprir a sua função, necessita-se de um disjuntor principal, seja de ar comprimido, magnético ou de vácuo, capaz de desligar o gerador da rede, mesmo na situação de plena carga.

Como elementos de protecção necessita-se:

- Relés de protecção da inter-ligação, que garantem a desconexão em caso de falha da rede;
- Relés da mínima tensão entre fases;
- Relés de máxima tensão.

Retomo de energia

Para detectar falhas nos enrolamentos do estator e actuar antes de se queimar, são usados relés diferenciais. Existem também relés que actuam no disjuntor principal quando a temperatura do gerador ou o transformador de saída ultrapassam os limites aceitáveis, ou no caso de tensões superiores ou inferiores da normal.

Entre as protecções mecânicas convém incluir as seguintes:

- Embalamento da turbina;
- Temperatura elevada no eixo e nas chumaceiras;
- Nível e pressão no circuito de óleo do compressor;
- Nível e circulação do circuito de refrigeração (caso exista);
- Nível mínimo da câmara de carga.

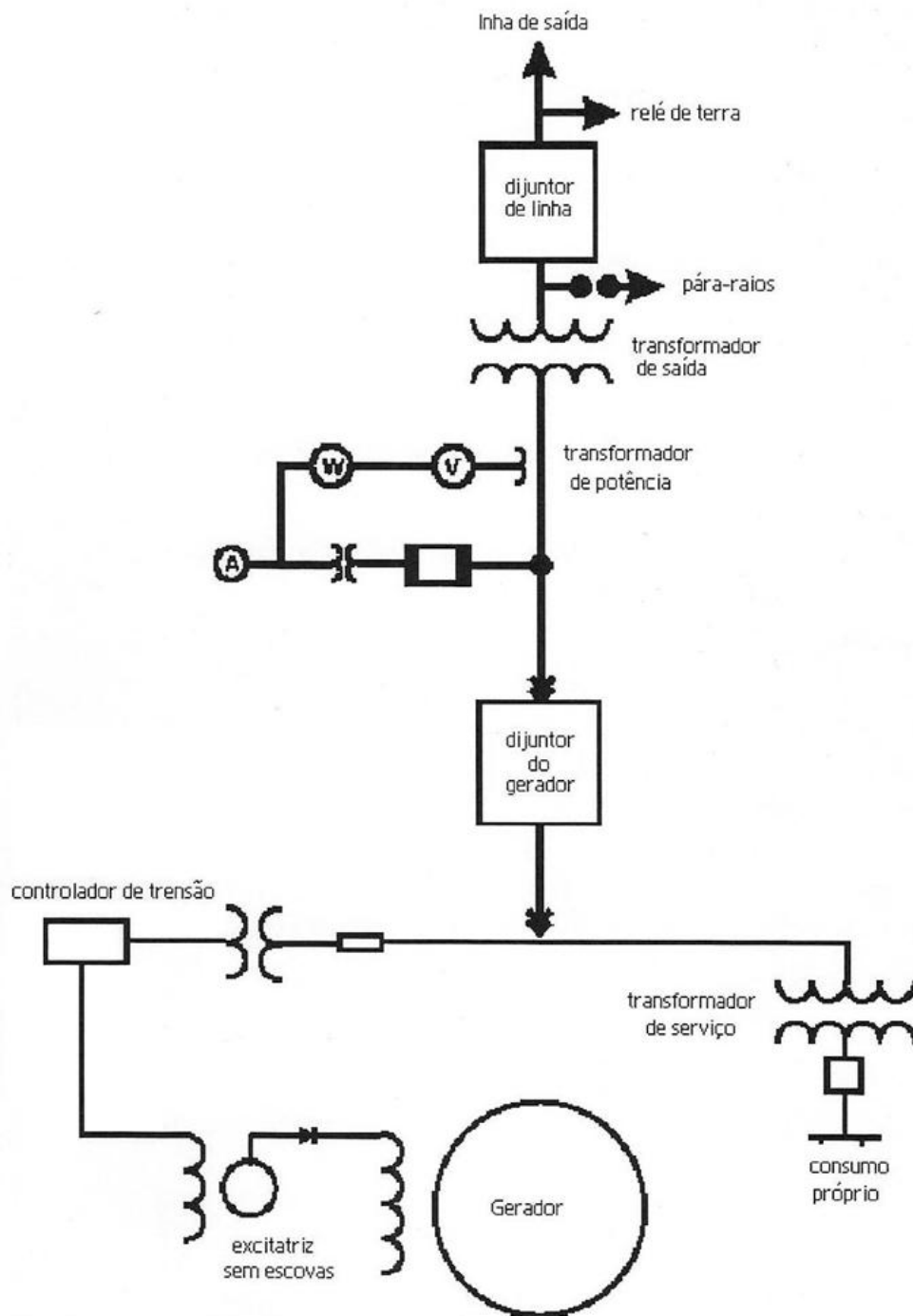


Figura 8 - Esquema unifilar de uma central eléctrica.

O produtor independente é responsável pelos sistemas de protecção contra descargas terra da instalação, que devem ser projectados seguindo as recomendações da companhia de distribuição. O sistema varia com o número de grupos instalados e com a configuração da central e do seu sistema de operação.

Por razões óbvias a central deve estar munida de um sistema de contadores para contabilizar a energia activa fornecida a rede e a reactiva absorvida pela mesma.

2.6.3. Controlo automático

Na maioria das pequenas centrais o seu funcionamento prossegue sem a existência de pessoal, em regime de abandono, funcionando mediante um sistema automático de controlo.

Como não há duas centrais iguais, resulta da impossibilidade de definir em rigor a sua configuração óptima, no entanto, existem requisitos de aplicação em geral:

- Todos os sistemas devem conter dispositivos de controlo e medida de accionamento manual para o arranque, totalmente independentes do controlo automático;
- O sistema deve incluir dispositivos necessários para poder detectar anomalias no funcionamento de qualquer componente importante, e poder desligar-se imediatamente a central da rede de distribuição;
- Tem de existir um sistema de transmissão que recolha, permanentemente, os dados essenciais para o funcionamento num painel de controlo ao alcance do operador, de forma a este poder tomar decisões convenientes. Esses mesmos dados deverão ser guardados numa base de dados, para uma posterior avaliação da central;
- Deve incluir um sistema de controlo inteligente para que a central possa funcionar sem funcionários;
- Deve permitir o acesso ao sistema de controlo, a partir de um ponto afastado da central, de forma a poder anular qualquer decisão tomada pelo sistema inteligente;
- No caso de existir mais centrais ao longo mesmo rio, deverá existir um sistema de comunicação entre elas, de forma a permitir que todas operem de forma optimizada;

A antecipação de falhas constitui uma melhoria muito significativa no sistema. Usando um sistema inteligente, e parceria com uma base de dados operacionais da central, podendo desta forma detectar falhas antes que ocorram e tomar medidas de prevenção de forma evitar que ocorra avaria.

O sistema deve configurar-se por módulos:

- Um módulo de conversão analógico a digital, para medir o nível da água, ângulo das pás do distribuidor, potência instantânea, temperaturas etc;
- Um módulo de conversão digital analógico para accionar as válvulas do circuito hidráulico;
- Um módulo para contabilizar os kWh gerados, o caudal, a intensidade da precipitação;
- Um módulo inteligente de transmissão com as interfaces de comunicação, via linha telefónica, rádio.

Esta forma de estruturar por módulos pretende satisfazer os diferentes requisitos de cada central, permitindo a normalização do hardware e software, reduzindo o custo e facilitando a manutenção

Os sistemas de controlo automáticos contribuem para o aumento da disponibilidade da central, e fazer trabalhar as turbinas com maior eficiência, produzindo assim mais kWh com o mesmo volume de água.

Com a generalização dos computadores pessoais, o preço destes equipamentos são inferiores aos antigos autómatos programáveis (PLC). A possibilidade de utilizar novos componentes, como discos rígidos e periféricos com placas de circuitos impressos PCMCIA, a alimentação em corrente contínua proveniente das baterias da central, a variedade e facilidade da entrada e saída de dados das placas, os dispositivos de vigilância do funcionamento da CPU, são outras vantagens disponíveis para o projectista incorporar a baixo preço no hardware necessário para a sua implementação.

O software construído para o controlo é feito seguindo um critério modular para permitir a sua mais fácil adaptação a cada planta, a preços reduzidos. Com a generalização dos sistemas CAD permitiu desfrutar com maior precisão dos pormenores da planta e a visualização dos diferentes componentes que intervêm no sistema

2.6.4. Equipamento Auxiliar

2.6.4.1 Transformador de serviço

Tem como finalidade fornecer energia para consumo da própria central, incluindo dispositivos mecânicos e hidráulicos e a iluminação, sendo da ordem de 1 a 3% da sua capacidade. Assim o transformador de serviço deve ser dimensionado para esta percentagem de carga. Para alimentar este transformador, numa central em regime de abandono, à que prever, duas fontes de alimentação diferentes para o fornecimento da energia necessária para a central operar, existindo para isso sistema automático para realizar a mudança de fonte quando é necessário.

2.6.4.2. Fonte de corrente contínua para o sistema de controlo

Nas centrais com uma potência superior a 500kW de potência, em especial as que operam com controlo remoto, necessitam de um sistema de corrente contínua que inclua um banco e o respectivo carregador de baterias. A capacidade amperimétrica deve ser tal forma que em caso de corte de corrente do carregador, fique assegurado o funcionamento do sistema de controlo de forma a ser possível tomar as medidas necessárias para recuperar o fornecimento.

2.6.4.3. Registo dos níveis da câmara de carga e do canal de descarga

Existe muitos sistemas disponíveis no mercado para o registo do nível da câmara de carga e no canal de descarga, medidas em geral indispensáveis para o controlo da central. O mais

sensível utiliza uma régua graduada em metros, centímetros e em milímetros, ao estilo das miras topográficas que alguém tem que observar fisicamente para poder registrar as leituras. Numa central de em regime de abandono, este sistema é totalmente desadequado. Um sistema tradicional consiste numa bóia que regista o nível sobre uma fita de papel contínuo, mas a sua leitura é demorosa. Se a central tem um sistema de controlo automático, o mais lógico é usar um dispositivo equipado com tradutores ligados a um computador, que acumula toda a informação durante o seu funcionamento.

O sensor é colocado no local em que se pretende realizar a respectiva medição, ou nas suas proximidades quando a sua ligação normalmente fica sujeita a condições muito pouco favoráveis e difícil acesso. Ao estar separado do sensor, o transdutor poderá estar situado numa zona segura e de fácil acesso, permitindo uma fácil vigilância ou a sua manutenção.

O sistema a usar para as medidas vem condicionado pela precisão com que se pretende efectuar as medições. No caso das pequenas centrais um sensor piezométrico com uma precisão de 0.1 % será o suficiente. A escolha do ponto de medida resulta de uma decisão particularmente crítica, tendo em consideração que o que se quer medir é o nível representativo de uma certa área, por exemplo o nível da câmara de carga.

Por outro lado devesse colocar o sensor num ponto que não esteja sujeito a acumulação de sedimentos que falsificam as leituras. O sensor de nível transmite o seu sinal por um método hidrostático, ou pneumático. O primeiro é usado para realizar medições em águas tranquilas, já que ao situar-se no interior de uma corrente de água, as mudanças de velocidade nas proximidades do sensor, induzem a erro as leituras. A melhor solução é ocultar o sensor em tubos no interior das paredes, de forma que seja plano e que não produza alterações locais na velocidade da corrente e proteja ao mesmo tempo de qualquer eventual choque.

2.6.4.4. Limpa Grelhas

Na câmara de carga a grelha de entrada para a conduta forçada será equipada com um limpa grelhas motorizado. Este terá a função de eliminar os resíduos sólidos que se acumulam na grelha de colmatação.

Constará basicamente de uma armação de suporte metálica fixa, um suporte móvel que levará um ancinho², um motor-reductor, um servo motor e um contrapeso.

O seu funcionamento será comandado por um sensor de perda de carga situado a seguir à passagem da água pela grelha. Quando a diferença de nível de água antes e depois da grelha for excessiva (superior a um valor pré-estabelecido), o sensor emitirá uma ordem de funcionamento para o limpa grelhas.

² Peça da Limpa Grelhas com formato de pente.

2.6.4.5. Válvula de Isolamento e Injector

No caso de o aproveitamento ser constituído por uma turbina do tipo Pelton a válvula de isolamento será do tipo borboleta com um diâmetro a definir pelo fornecedor da turbina. O comando da válvula de borboleta efectuar-se-á por intermédio de um servomotor hidráulico. O injector é igualmente activado por servomotor hidráulico.

Assim à absoluta necessidade de garantir que a central óleo-hidráulica, após anomalia por falta de energia, consiga manter o fornecimento do óleo sob pressão durante o tempo necessário ao fecho do injector da turbina e fecho da válvula de isolamento.

2.6.4.6. Medidas de Grandezas Mecânicas e Fins de Curso

A válvula de isolamento e a comporta deverão estar equipadas com fins de curso para sinalização das posições de aberto ou fechado.

A posição de abertura do injector será medida através de um conversor angular com a saída de 0 a 20 ou 4 a 20 [mA] DC e equipado com detectores de valor limite ajustáveis para as posições de:

- Injector fechado (0%)
- Injector aberto (100%)

As chumaceiras da turbina deveram estar equipadas com detectores de temperatura (termóstatos ou detectores electrónicos de temperatura), possuindo dois contactos, um para alarme e outro para disparo.

2.6.5 Regulação de Nível

A regulação de nível tem por objectivo manter constante o nível na câmara de carga. Pretende-se assim maximizar a potência gerada para o caudal afluente disponível. Esta restrição impõe que em cada instante o caudal efluente acompanhe o caudal afluente.

Para que o caudal efluente seja igual ao caudal afluente é necessário actuar no injector da turbina, ou nas pás do distribuidor, e que esta consiga turbinar todo o caudal afluente.

2.6.5.1 Reservatórios Genéricos

A regulação de nível de um líquido qualquer em um reservatório pode ser definida como manter o nível do líquido em um valor fixo ou variando dentro de uma faixa, tendo como variáveis de controlo: caudal de entrada e saída do líquido e geometria do reservatório.

O mecanismo de regulação de nível de líquidos em reservatórios pode ser mais facilmente compreendido com um estudo prévio de um sistema simples, que ofereça meios de ser expandido a sistemas de maior complexidade. Caixas de água enquadram-se bem nesta

definição, pelo fato do sistema possuir geometria de fácil equacionamento e a variação dos caudais de entrada ou saída poder ser controlada de maneira rápida e precisa.

2.6.5.2. Controlo do Nível

Um reservatório é destinado geralmente ao armazenamento de um qualquer líquido que deve ser utilizado no consumo de um processo, sendo este consumo representado pelo caudal de saída (efluente) (q_{ef}) do líquido. Para que o líquido armazenado esteja sempre disponível, deve ser renovado no reservatório, podendo ser representado pelo caudal de entrada (afluente) (q_{af}) do líquido. A variação do nível (H) do líquido (água) no tempo, numa caixa de água, pode ser definida pela razão entre a diferença das vazões q_{af} e q_{ef} , e a secção transversal (S) da caixa de água.

$$dH = \frac{q_{af} - q_{ef}}{S} \Delta t \quad (4)$$

Para caudais e secção transversal da caixa de água constantes, tem-se:

$$\Delta h = \frac{q_{af} - q_{ef}}{S} \Delta t \quad (5)$$

O conhecimento da variação do nível de um líquido contido num reservatório é de extrema importância em muitos processos que dependam constantemente da presença do líquido e do nível do reservatório. Neste caso o processo de geração de energia eléctrica em grupos geradores hidráulicos, onde a água e o nível do reservatório apresentam um papel fundamental na quantidade de energia eléctrica que pode ser gerada em um determinado espaço de tempo.

2.6.5.3. Estabilidade do Nível

A análise da estabilidade do nível de um líquido em um reservatório pode ser idealizada com o seguinte modelo: um reservatório com uma geometria qualquer e com paredes de tamanho infinito, o qual possa armazenar qualquer volume de líquido, e também, um caudal de entrada de um líquido forçada com um valor qualquer, e um caudal de saída do líquido não forçada e não nula através de um orifício de área constante. Com este modelo pode-se afirmar que o nível do líquido sempre tende a se estabilizar em valor para um caudal de entrada constante. O nível do líquido no reservatório é considerado estável quando não varia no tempo.

Observando-se a equação (5), a variação do nível é nula, num tempo diferente de zero, quando o numerador toma-se nulo, ou seja, o caudal de entrada é igual ao caudal de saída. Sendo o caudal de entrada constante, o caudal de saída deve igualar-se ao caudal de entrada para que o nível do reservatório se estabilize num valor qualquer. Sabe-se que o caudal de saída através de um orifício é directamente proporcional a raiz quadrada da altura (h), então temos:

$$q_s \approx K \cdot \sqrt{h} \quad (6)$$

Se num dado momento, o caudal de saída for maior do que o caudal de entrada, o nível do reservatório tende a diminuir, diminuindo também o caudal de saída, como é observado na equação, o nível irá diminuir até que o caudal de saída se tome igual ao caudal de entrada. Com o caudal de saída menor do que o caudal de entrada, a situação se inverte com um aumento do nível do reservatório e do caudal de saída até que se tome igual ao caudal de entrada.

2.6.6. Reservatórios de Pequenas Centrais Hidroeléctricas (PCH)

A regulação de nível em reservatórios de PCH's deve ser tratada de maneira especial, devido a vários factores que influem no caudal de entrada e caudal de saída, e também ao alto índice de renovação de água exigido pelo processo.

2.6.6.1. Reservatório em Regime de Fio de Água

Algumas PCH's são constituídas por reservatórios operando em regime de fio de água, ou seja, dotada de um reservatório com pequeno volume de água que garante geração de energia eléctrica por pouco tempo (em tomo de dezenas de minutos) quando se considera o caudal de entrada nulo. Em épocas de pouca chuva, a energia máxima que pode ser gerada depende exclusivamente do caudal do rio e o reservatório é utilizado para compensar variações de carga. Em épocas de alta precipitação o caudal do rio é geralmente maior do que a necessária para a geração máxima de energia, sendo a água não utilizada, é escoada do reservatório para o rio através de comportas de fundo e vertedores.

O reservatório é constituído de uma barragem não muito grande, com vertedor no máximo a dez metros de altura. A barragem deve ter comportas de fundo que devem ser utilizadas para regulação de nível e limpeza periódica do reservatório.

2.6.6.2. Caudal de Entrada Envolvido

O reservatório de PCH's tem o caudal do rio (Q_{RIO}) representado como caudal de entrada do modelo apresentado. O caudal do rio depende exclusivamente do volume de chuvas ao longo de sua extensão.

2.6.6.3. Caudais de Saída Envolvidos

São três caudais de saída envolvidos no reservatório de PCH's:

- Caudal Turbinado (q_t)
- Caudal das Comportas (q_c)
- Caudal do Vertedor (q_v)

O Caudal turbinado depende da variação da carga interligada no sistema da geração, e também do valor definido na referência do regulador de velocidade. A variação da carga tem pequena influência na variação do caudal turbinado, já que em pequenos intervalos de tempo não ultrapassa 1 %. A referência do regulador de velocidade é geralmente definida pela quantidade de água turbinável disponível ao processo. O caudal das comportas é definido pelo nível do reservatório e pela sua área livre. O caudal do vertedor é definido pelo seu comprimento e pelo nível de água disposto acima do vertedor.

2.6.7. Modelação de um sistema hidráulico

2.6.7.1. Circuito de derivação

O circuito de derivação é composto pelo canal e a câmara de carga. O funcionamento do canal está condicionado pelos caudais afluentes e pelos caudais turbinados. Como tal, havendo variações destes, surgem oscilações de nível ao longo do canal e na câmara.

Se a área em planta da câmara e do canal são suficientemente grandes, as oscilações de nível são lentas, admitindo-se assim que o caudal é uma fonte de caudal variável.

A câmara de carga é um reservatório de paredes rígidas, contendo um líquido incompressível. O seu nível, $h_{cc}(t)$, é variável de estado.

Quando em funcionamento, a taxa de variação temporal do volume da água armazenada na câmara de carga é da forma:

$$\frac{dv(v_{cc}, t)}{dt} = q_{af}(t) - q_{ef}(t) \quad (7)$$

Sendo a área em planta igual para qualquer cota, pode-se escrever:

$$v(h_{cc}, t) = A_{cc} \cdot h_{cc}(t) \quad (8)$$

Com,

- A_{cc} - Área da câmara de carga
- v_{cc} - Volume de água na câmara de carga
- q_{af} e q_{ef} - Caudal afluente e efluente respectivamente
- h_{cc} - Altura da câmara de carga

Substituindo em (7) por (8) obtém-se:

$$\frac{dh_{cc}(t)}{dt} = \frac{q_{af}(t) - q_{ef}(t)}{A_{cc}} \quad (9)$$

2.6.7.2. Conduta forçada

A conduta forçada é representada por um modelo rígido e inelástico (paredes rígidas indeformáveis e líquido incompressível). Recorrendo à equação da dinâmica em pu's:

$$h_t(t) - h_a(t) = \phi_0 q(t) + T_w \frac{dq(t)}{dt} \quad (10)$$

Com,

- h_t - Altura total do aproveitamento
- q - Caudal na conduta

Onde ϕ_0 é a perda de carga relativa ao caudal e altura útil de funcionamento da central, dada por:

$$\phi_0 = \frac{c \cdot L}{\rho \cdot g \cdot A^2} \frac{Q_0}{H_0} \quad (11)$$

T_w é a constante de tempo associada ao arranque da coluna de água respeitante ao caudal e altura de funcionamento, dada por:

$$T_w = \frac{L}{g \cdot A} \frac{Q_0}{H_0} \quad (12)$$

Com:

- c - Coeficiente de atrito
- L - Comprimento da conduta
- ρ - Massa específica da água
- g - Aceleração da gravidade
- A - Área da conduta
- Q_0 - Caudal nominal
- H_0 - Altura nominal

Pela equação da continuidade (considerando o modelo rígido e inelástico), tem-se:

$$\frac{dq(t)}{dx} = 0 \quad (13)$$

Assim, o caudal na conduta é o mesmo à entrada e à saída. O caudal turbinado q_t , é então igual ao caudal na conduta. De (10) surge:

$$h_u(t) = -\phi_0 q_t(t) - T_w \frac{dq_t(t)}{dt} + h_f(t) \quad (14)$$

2.6.7.3 Turbina

O modelo a utilizar para representar a turbina depende dos estudos que se pretendam realizar. Na regulação de nível (problemas de controlo em geral), são utilizados os modelos linearizados em torno de um ponto de funcionamento, caracterizado por (n, g, h_u, q, T_m) .

É usual exprimir os modelos linearizados em valores por unidade (pu). Por norma escolhe-se o ponto de funcionamento nominal da turbina, que geralmente coincide com o ponto em que o rendimento é máximo.

Sendo o ponto de funcionamento nominal caracterizado por $(n_n, g_n, h_{u_n}, q_n, T_{m_n})$, então, e para uma turbina Pelton:

$$q = f_q(n, h_u, \alpha) \quad (15)$$

$$m = f_m(n, h_u, \alpha) \quad (16)$$

Em que:

- $q = \frac{q}{q_n}$ - Caudal turbinado em pu;
- $m = \frac{T_m}{T_{m_n}}$ - Binário mecânico em pu;
- $n = \frac{n}{n_n}$ - Velocidade de rotação em pu;
- $h_u = \frac{h_u}{h_{u_n}}$ - Altura útil em pu;
- $\alpha = \frac{g}{g_n}$ - Grau de abertura do injecto em pu.

O modelo linearizado é obtido pelo desenvolvimento em serie de Taylor das equações anteriores (15 e 16), até aos termos de primeira ordem em torno dum ponto de funcionamento.

Considera-se um ponto de funcionamento caracterizado por $(n_0, \alpha_0, h_{u_0}, q_0, m_0)$. O desenvolvimento em série de Taylor até aos termos de primeira ordem, em torno do referido ponto aproxima as equações 15 e 16 por:

$$\Delta q = a_{11}\Delta n + a_{12}\Delta h_u + a_{13}\Delta \alpha \quad (17)$$

$$\Delta m = a_{21}\Delta n + a_{22}\Delta h_u + a_{23}\Delta \alpha \quad (18)$$

Em que,

$$a_{11} = \left(\frac{\delta f_q}{\delta n} \right)_0, a_{12} = \left(\frac{\delta f_q}{\delta h_u} \right)_0, a_{13} = \left(\frac{\delta f_q}{\delta \alpha} \right)_0$$

$$a_{21} = \left(\frac{\delta f_m}{\delta n} \right)_0, a_{22} = \left(\frac{\delta f_m}{\delta h_u} \right)_0, a_{23} = \left(\frac{\delta f_m}{\delta \alpha} \right)_0$$

Um grupo a funcionar em regime de exploração abandonada, gerador assíncrono de rotor em curto-circuito, em paralelo com a rede, tem o sincronismo assegurado pela própria rede.

Assim impõem-se uma simplificação nas equações 17 e 18 dado que $\Delta n = 0$.

Para calcular os coeficientes a_{12} e a_{13} , vamos considerar a idealidade da turbina, assim a turbina é equivalente ao esvaziamento de um reservatório por um orifício no extremo de uma conduta; a equação que rege esse esvaziamento, em pu, é:

$$q = \alpha \sqrt{h_u} \quad (19)$$

A equação (19) permite determinar os coeficientes a_{12} e a_{13} , para a turbina ideal. Na Figura 9, estão representadas as curvas correspondentes a:

$q = f(h_u)$, com α como parâmetro.

$q = f(\alpha)$, com h_u como parâmetro.

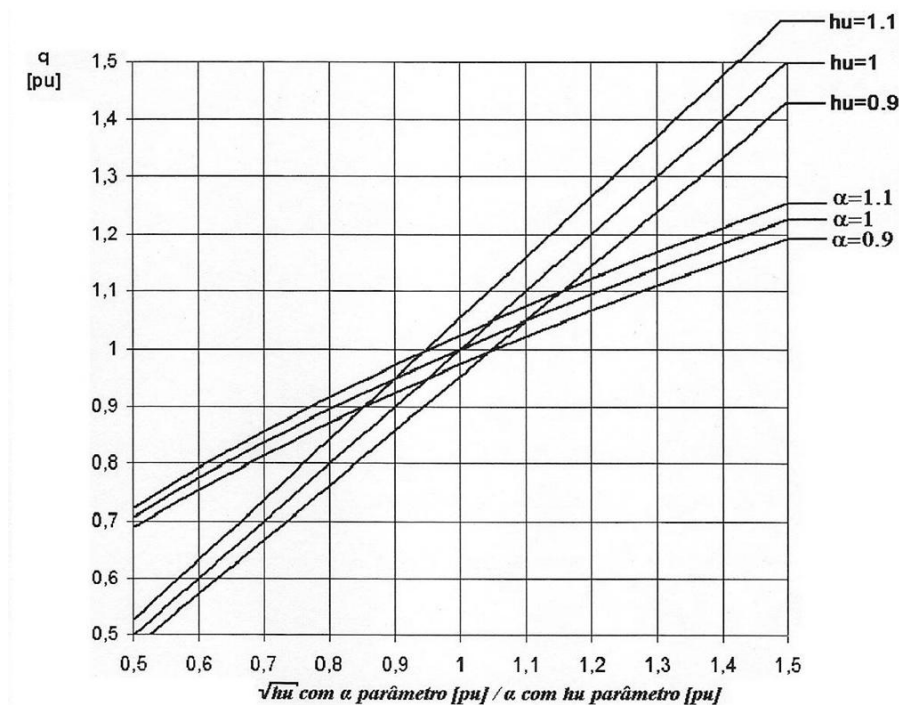


Figura 9 - Variações das características de funcionamento de uma turbina ideal.

Ou seja, a partir desta equação podem-se determinar as sensibilidades $(\delta f_q / \delta \alpha_u)_0$ e $(\delta f_q / \delta \alpha)_0$ de forma expedita através do cálculo do declive da recta tangente ao ponto de funcionamento escolhido. Deste modo, escolhendo o ponto de funcionamento nominal ($h_u = \alpha = 1 pu$) obtêm-se as seguintes sensibilidades: $a_{12} = 0.5$ e $a_{13} = 1$.

Verifica-se ainda que, variando quer o ponto de funcionamento quer o respectivo parâmetro, as sensibilidades não vêm alteadas de forma significativa.

$$\Delta q(t) = 0.5\Delta h_u(t) + \Delta \alpha(t) \quad (20)$$

2.6.7.4. Especificação Diagramas de Blocos de Sistema de Controlo de Nível

Pretende-se que a regulação de nível satisfaça as seguintes condições:

- Dada uma variação do caudal afluente, o sistema deve repor o nível anterior da câmara de carga, de modo que este se mantenha constante.
- O sistema tem que ser sempre estável, tendo o mínimo possível de oscilações amortecidas.
- A resposta do sistema deverá ser rápida.

Para se atingir os objectivos propostos considera-se uma altura de nível que será a referência, compara-se com a altura de nível de carga e o erro será tratado por um controlador a definir. O controlador dará ordem de comando a um servo-motor hidráulico que abre e fecha o injectores. Consegue-se assim uma variação do caudal turbinado, dependente do modelo da conduta forçada e da turbina. O nível da câmara de carga será a diferença entre o caudal afluente e o caudal turbinado. A Figura 10 representa a regulação de nível, sob a forma de diagrama de blocos.

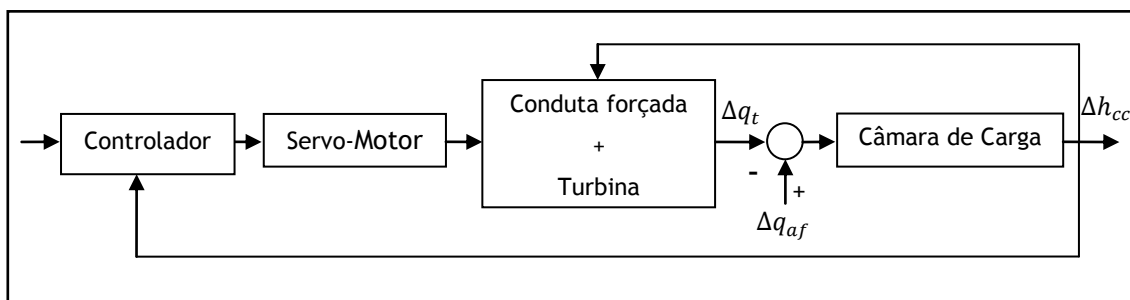


Figura 10 - Diagrama de blocos do sistema de controlo de nível para pequenos aproveitamentos hidroeléctricos.

2.6.7.5. Funções de Transferência

Para determinar as funções de transferência, correspondentes a cada bloco do diagrama, consideram-se pequenas variações do caudal turbinado e da altura útil. A altura de queda é grande, pelo que a aproximação de pequena variação da altura útil é boa; as variações de

caudal são lentas, pelo que também se pode afirmar que as variações do caudal turbinado serão pequenas. Admite-se ainda condições iniciais nulas.

Função de transferência do regulador

A situação mais simples corresponde ao controlo proporcional: a acção do controlador é directamente proporcional ao erro medido.

$$P = K_p \cdot E_p \quad (21)$$

Onde, K_p - Ganho proporcional e E_p - Erro do controlador.

O parâmetro K_p será positivo ou negativo, conforme se pretenda que a acção do controlador aumente ou diminua quando o sinal medido.

O controlo proporcional tem um problema inerente: está sujeito a que a variável controlada estabilize num valor diferente do pretendido, ou seja, existe um desvio persistente (offset) da variável medida relativamente ao valor pretendido.

Uma forma eficiente de eliminar o offset do controlador proporcional consiste em adicionar uma parcela de controlo integral:

$$P = K_p \cdot E_p + K_p \cdot K_I \cdot \int_0^1 E_p \cdot dt + P_I(0) \quad (22)$$

Em que:

- $P_I(0)$ - Valor do termo integral para ($t=0$; valor inicial);
- K_p - Ganho proporcional;
- E_p - Erro do controlador proporcional;
- K_I - Ganho integral.

A vantagem principal deste modo de controlo composto é que se dispõe da correspondência para um do modo proporcional e o modo integral elimina o desvio inerente. Note-se que, por projecto, o ganho proporcional também afecta o ganho total do modo integral, mas que o ganho de integração pode, através de K_I , ser ajustado independentemente.

O desvio do modo proporcional aparecia quando uma variação da carga implicava uma nova saída nominal do controlador e esta não poderia aparecer sem que houvesse um erro fixo nominal do controlador ponto de ajustamento. No modo de que estamos a falar, a função integral dá a nova saída necessária do controlador, fazendo assim com que o erro seja zero depois da variação da carga. A característica integral vai de facto permitir repor a saída para erro zero depois de haver uma alteração da carga.

O controlador proporcional mais integral só estabiliza quando o erro desaparecer. Está assim garantido que não existirá *offset*. No entanto, o controlo integral apresenta uma desvantagem: tende a criar oscilações na variável controlada, o que geralmente se traduz numa redução da estabilidade do sistema.

Uma outra possível adição ao algoritmo de controlo é o controlo derivativo:

$$P = K_p \cdot E_p + K_p \cdot K_D \cdot \frac{dE_p}{dt} + P_0 \quad (23)$$

Em que:

- P_0 - Valor do termo derivativo para ($t = 0$; valor inicial);
- K_p - Ganho Proporcional;
- K_D - Ganho Derivativo;
- E_p - Erro do Controlador Proporcional;
- $\frac{dE_p}{dt}$ - Taxa de variação do Erro (%/s).

Essencialmente, a componente derivativa tem um efeito antecipatório: se o erro começa a aumentar muito rapidamente, o controlador começa logo a actuar com mais "força", antes que as coisas piorem.

Normalmente, o controlo derivativo contrabalança o efeito desestabilizador do integral, permitindo uma estabilização mais rápida da variável controlada. Não deve ser usado, contudo, quando a medição está sujeita a "ruído" significativo, pois então o cálculo da derivada do erro irá amplificar esse ruído e transmiti-lo ao controlador.

Um controlador que envolva as três componentes (Proporcional, Integral e Derivativa) é normalmente designado por controlador PID.

$$P = K_p \cdot E_p + K_p \cdot K_I \cdot \int_0^1 E_p \cdot dt + K_p \cdot K_D \cdot \frac{dE_p}{dt} + P_I(0) \quad (24)$$

Pode obviamente ser implementado apenas nas versões PI, PD ou simplesmente P. A escolha depende das características do processo a controlar. Ao implementar um sistema digital de controlo PID, é necessário ter em atenção que, devido à própria natureza dos sistemas digitais de aquisição de dados, a variável controlada não é medida continuamente, mas sim em intervalos de tempo discretos.

A função de transferência do regulador será aquela que, garantindo o cumprimento das especificações seja a mais simples.

Os reguladores existentes são do tipo PID (proporcional integral derivativo), cuja função de transferência é:

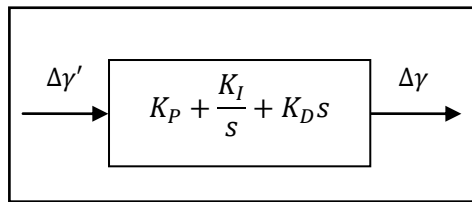


Figura 11 - Regulador PID.

Este regulador é mais completo, os outros tipos de regulador obtêm-se por simplificação deste:

- Regulador proporcional (K_I e $K_D = 0$);
- Regulador proporcional derivativo ($K_I = 0$);
- Regulador proporcional integral ($K_D = 0$);

Função de transferência do servomotor

O servomotor de comando do injetor tem uma função de transferência, normalmente associada aos servomotores hidráulicos na região linear de funcionamento (ou seja no interior da banda limitada pelos valores máximo e mínimo da abertura).

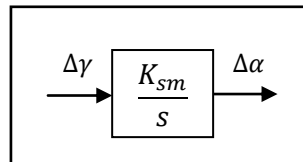


Figura 12 - Bloco da função transferência do servomotor.

Função de transferência da conduta forçada + turbina

Para de obter a equação da conduta força, aplica-se a transformada de Laplace à equação (14) e obtém-se:

$$\Delta h_u(s) = -\phi_0 \cdot \Delta q_t(s) - T_w \cdot s \cdot \Delta q_t(s) + \Delta h_t(s) \tag{25}$$

Como as perdas de carga não são significativas serão desprezadas e atendendo a, $h_t(s) \equiv \Delta h_{cc}$ surge de (25):

$$\Delta h_u(s) = -T_w \cdot s \cdot \Delta q_t(s) + \Delta h_{cc}(s) \tag{26}$$

Para a turbina, aplicando transformada de Laplace à equação (20) obtém-se:

$$\Delta q_t(s) = 0,5 \Delta h_u(s) + \Delta \alpha \quad (27)$$

Relacionando a equação (26) com a equação (27) obtém-se a função de transferência para a conduta forçada + turbina:

$$\Delta q_t(s) = \frac{0,5}{1 + 0,5 T_w \cdot s} \Delta h_{cc}(s) + \frac{1}{1 + 0,5 T_w \cdot s} \Delta \alpha \quad (28)$$

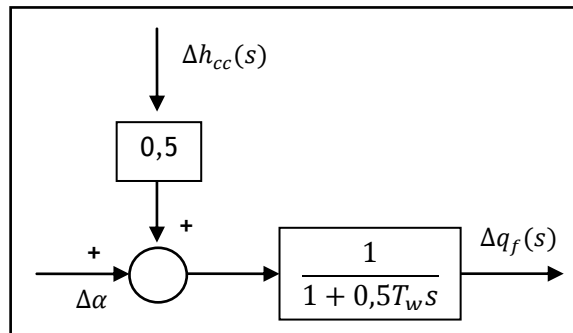


Figura 13 - Bloco da função transferência para a conduta forçada + turbina.

Função de transferência de câmara de carga

Aplicando a transformada de Laplace à equação (9) fica:

$$s \cdot \Delta h_{cc}(s) = \frac{\Delta q_{af}(s) - \Delta q_{ef}(s)}{A_{cc}} \quad (29)$$

Atendendo às considerações já efectuadas que permitem considerar $q_{ef}(s) = \Delta q_t(s)$, surge a função de transferência que completa o diagrama de blocos:

$$\frac{\Delta h_{cc}(s)}{q_{af}(s) - \Delta q_t(s)} = \frac{1}{A_{cc} \cdot s}$$

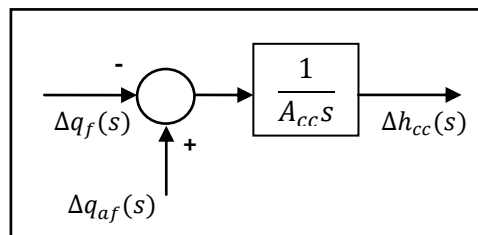


Figura 14 - Bloco da função transferência da câmara de carga.

2.6.7.6. Diagrama de Blocos Característicos do Sistema

O diagrama de blocos está completamente definido, a representação é ilustrada na Figura 15.

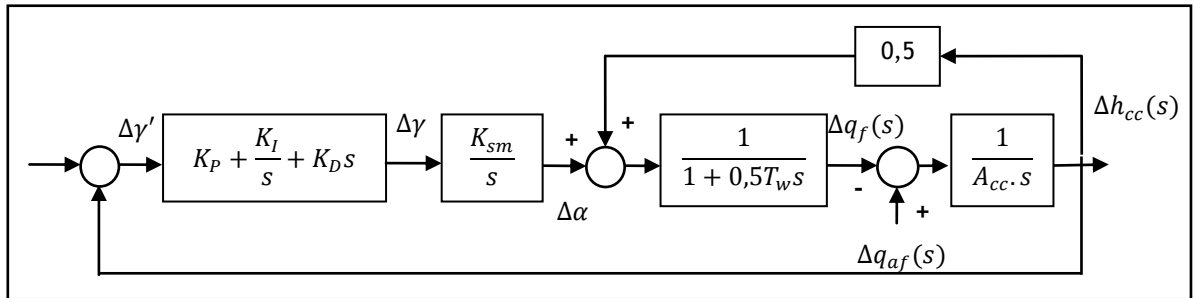


Figura 15 - Diagrama de blocos do controlo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico.

2.6.8. Estabilidade

As características de estabilidade dos sistemas lineares e invariantes no tempo dependem da localização dos pólos do sistema

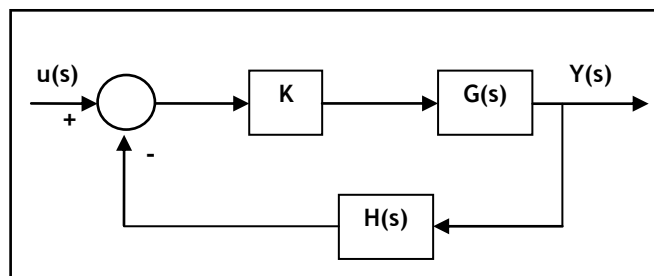


Figura 16 - Diagrama de blocos para determinação da estabilidade.

Que são raízes da equação característica, $1 + K.G(s).H(s) = 0$.

O sistema é estável se todos os seus pólos tiverem parte real negativa, isto é, $Re\{s_i\} < 0$. Na análise de estabilidade utiliza-se o método denominado "Diagrama de Evans" ou "Root-Locus" (lugar das raízes).

Root-Locus é um diagrama que representa, no plano complexo, o lugar geométrico das raízes da equação característica função de um determinado parâmetro (na maior parte das vezes, o ganho K). O seu traçado tem por base a função de transferência em cadeia aberta; $ftca = K.G(s).H(s)$. Existem regras que permitem efectuar o traçado do diagrama; duas dessas regras revelam-se importantes, (embora o traçado do Root-Locus seja executado em computador).

- Os ramos do Root-Locus começam nos pólos da função de transferência em cadeia aberta.

- Os ramos do Root-Locus terminam nos zeros da função de transferência em cadeia aberta ou/e no infinito.

Estas regras são importantes por existir a possibilidade de alterar o número de pólos e zeros e a sua localização, da respectiva função de transferência em cadeia aberta.

Os dados a introduzir, para o traçado de Root-Locus em computador, são os coeficientes do numerador e denominador da *ftca*. O lugar geométrico das raízes evolui com o aumento de k e $k > 0$.

2.6.8.1. Análise da Estabilidade do Sistema

Nesta análise admite-se que não há variação simultânea no caudal afluente e no nível de referência, de modo a considerar separadamente as respectivas variações.

A análise do sistema para variações do nível e referência não se revela importante. O nível de referência é mantido constante tornando a $h_{ref} = 0$. Optou-se por considerar também, a possibilidade de $h_{ref} \neq 0$ para se concluir da possibilidade de uma alteração do nível de referência.

- a) Análise para $h_{ref} = 0$ e $q_{af} \neq 0$.

Pretende-se com o estudo da estabilidade verificar quais os reguladores a utilizarem, que façam com que o sistema seja estável.

Reguladores existentes e respectivas funções de transferência

- 1 - Regulador proporcional (P)
- 2 - Regulador proporcional derivativo (PD)
- 3 - Regulador proporcional integral (PI)
- 4 - Regulador proporcional integral derivativo (PID)

O diagrama de blocos para $h_{ref} = 0$ é:

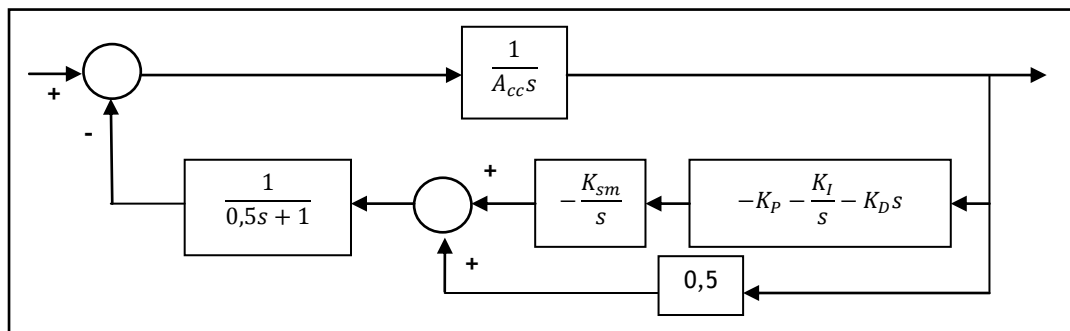


Figura 17-Diagrama de blocos para $h_{ref}=0$.

A função de transferência em cadeia aberta (*ftca*) é dada por:

$$ftca = k \frac{1}{A_{cc} s} \frac{1}{0.5T_w s + 1} \left[0.5 + \frac{K_{sm}}{s} \left(K_p + \frac{K_I}{s} K_{Ds} \right) \right] \quad (30)$$

Em que k é o ganho da *ftca* e K_{sm} , K_p , K_I e K_D são respectivamente os ganhos do servomotor, controlador proporcional, integral e derivativo. Uma vez que o ganho do servomotor multiplica os ganhos do controlador, sem perda de generalidade, o seu valor é específico como sendo: $K_{sm} = 1$. Também, em termos qualitativos, o valor de A_{cc} pode ser contemplado em k , sendo que, para este caso, $T_w = 1s$.

A função transferência do sistema (30) depende do tipo de controlador escolhido. Assim, o controlador proporcional integral adiciona ao sistema um pólo e um zero. O pólo localiza-se na origem do plano complexo, não sendo possível a sua alteração. A localização quer do zero adicionado pelo controlador, quer do zero do sistema original dependem da especificação do valor dos ganhos do controlador.

A opção pelos dois controladores exhibe uma grande vantagem: é apenas necessário fazer o ajuste no controlador proporcional (K'_p), ao invés do PID onde teríamos que fazer o ajuste dos ganhos, K_p , K_I e K_D de forma interdependente. As diferentes possibilidades de colocação dos zeros no plano complexo, correspondente aos diferentes lugares geométricos das raízes apresentados na Figura 18.

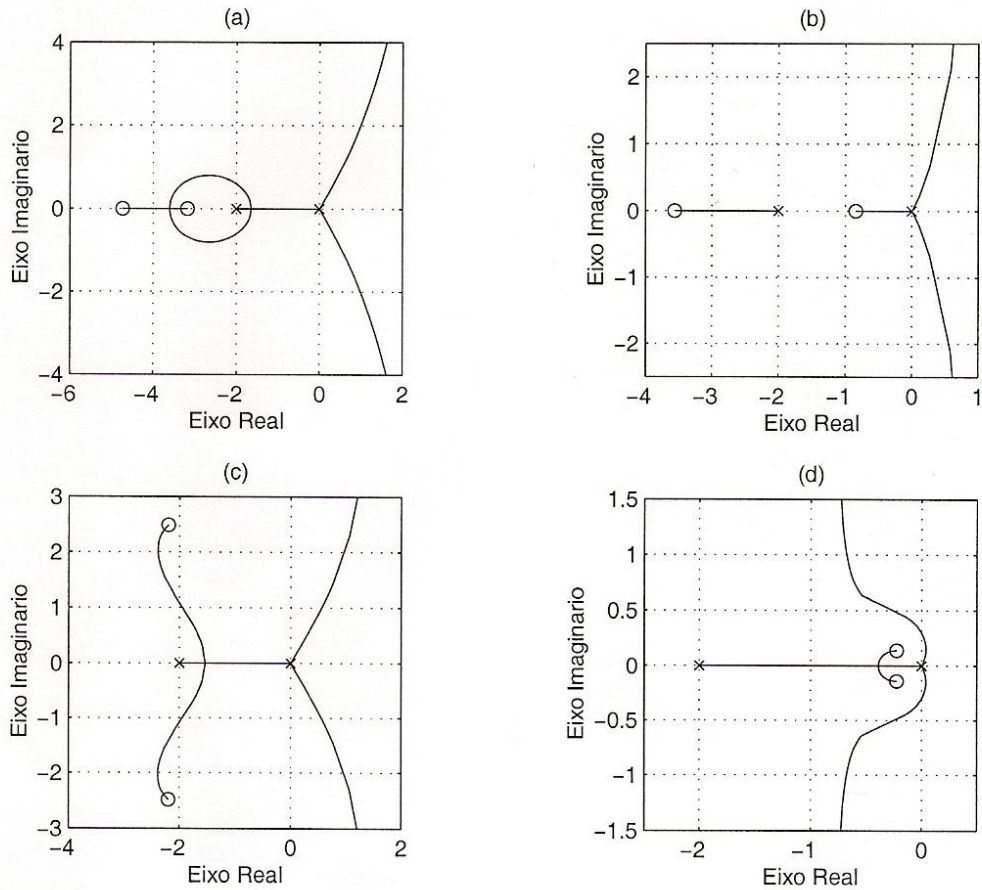


Figura 18 - Lugar geométrico das raízes do sistema para o controlador P+PI e PID. Note-se que só foi possível estabilizar o sistema em (d), pela adição de dois zeros muito próximos do eixo real e dos pólos na origem do sistema em cadeia aberta.

O controlador PID adiciona o mesmo número de pólos e de zeros que o controlador PI. A diferença entre o controlador PI e PID reside na possibilidade de variar o ganho de todo o polinómio característico e que dá origem aos zeros (PID), ao passo que no controlador PI o coeficiente do termo quadrático é constante e o ganho k é simplesmente $k = 1/A_{cc}$, como se conclui da *ftca*. Neste caso, podemos optar por colocar um controlador proporcional (P), que amplia o sinal de erro proveniente da diferença $q_{af}(t) - \Delta q_t(t)$, conjuntamente com o controlador PI, sendo estes dois controladores equivalentes ao PID.

2.6.8.2. Escolha do tipo de regulador quanto à estabilidade.

Qualquer regulador consegue levar o sistema à estabilidade. O regulador que pode ser excluído à partida é o tipo PI, visto que o ganho K , dado o elevado valor A_{cc} , é próximo de zero. Os pólos não se deslocam praticamente da origem tomando-se o sistema muito oscilatório.

Para optar por um regulador surge a necessidade de ponderar o comportamento do sistema quanto à sua resposta no tempo. É considerada uma perturbação típica para a variação do caudal afluente (variação em rampa).

Análise da resposta no tempo

A análise mais simplista que se pode começar por fazer, é a determinação do valor final da resposta no tempo, recorrendo ao teorema do valor final. O teorema do valor final diz que:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta h_{cc}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Delta h_{cc}(s)$$

Com esta análise pretende-se verificar quais os reguladores que fazem com que o sistema cumpra a especificação a) do ponto. 2.6.7.4 - (Dada uma variação de caudal afluente, o sistema deve repor o nível anterior da câmara de carga, de modo a que este se mantenha constante).

É agora necessário determinar a função de transferência em cadeia fechada, para cada tipo de regulador considerado de forma a aplicar o teorema do valor final. A transformada de Laplace da entrada é:

$$\Delta q_{af}(s) = \frac{a}{s^2}$$

a) Regulador Proporcional

$$\frac{\Delta h_{cc}(s)}{\Delta q_{af}(s)} = \frac{s(0,5 \cdot T_w \cdot s + 1)}{A_{cc} \cdot T_w \cdot s^3 + A_{cc} \cdot s^2 + 0,5 \cdot s + K_p}$$

$$\Delta h_{cc}(s) = \frac{s(0,5 \cdot T_w \cdot s + 1)}{A_{cc} \cdot T_w \cdot s^3 + A_{cc} \cdot s^2 + 0,5 \cdot s + K_p} \cdot \frac{a}{s^2}$$

Aplicando o valor do teorema do valor final:

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \Delta h_{cc}(s) = \frac{a}{K_p}$$

Após o regime transitório o valor da resposta no tempo tende para a/K_p ; $\Delta h_{cc t \rightarrow \infty}(t) \neq 0$.

b) Regulador Proporcional Derivativo

$$\frac{\Delta h_{cc}(s)}{\Delta q_{af}(s)} = \frac{s(0,5 \cdot T_w \cdot s + 1)}{A_{cc} \cdot T_w \cdot s^3 + A_{cc} \cdot s^2 + (0,5 + K_D)s + K_p} \quad (20)$$

$$\Delta h_{cc}(s) = \frac{s(0,5 \cdot T_w \cdot s + 1)}{A_{cc} \cdot T_w \cdot s^3 + A_{cc} \cdot s^2 + (0,5 + K_D)s + K_p} \cdot \frac{a}{s^2} \quad (21)$$

Aplicando o valor do teorema do valor final:

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \Delta h_{cc}(t) = \frac{a}{K_p} \quad (22)$$

O resultado obtido é igual ao caso anterior

c) Regulador Proporcional Integral Derivativo.

$$\frac{\Delta h_{cc}(s)}{\Delta q_{af}(s)} = \frac{s^2(0,5 \cdot T_w \cdot s + 1)}{A_{cc} \cdot T_w \cdot s^4 + A_{cc} \cdot s^3 + (0,5 + K_D)s^2 + K_p \cdot s + K_I}$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \Delta h_{cc}(t) = 0$$

Passado o regime transitório, $\Delta h_{cc_{t \rightarrow \infty}}(t) = 0$.

Para ilustrar o comportamento do sistema, quando este sofre uma perturbação (variação do caudal afluente) em rampa $\Delta q_{af}(t) = 0,1t$; é analisada a evolução temporal do nível de água na câmara de carga, $\Delta h_{cc}(t)$.

A Figura 19 mostra a resposta para o controlador P+PI por variação do ganho K'_p . Verifica-se que o sistema repõe o nível anterior da câmara de carga e que, por variação do ganho e da especificação dos zeros do controlador P+PI, podemos obter uma resposta rápida e não oscilatória. O mesmo tipo de resposta poderia ser obtido pela utilização de um controlador PID, requerendo contudo um maior esforço no ajuste dos seus ganhos e uma maior dificuldade em os adaptar a outros casos [1].

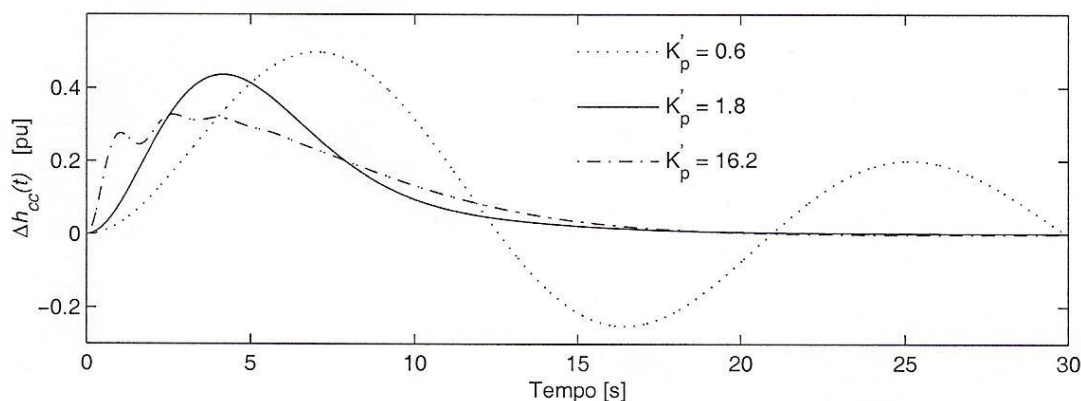


Figura 19 - Resposta no tempo a uma entrada em rampa, $q_{af} = 0,1t$ para diferentes valores de K'_p , e para seguintes valores de ganho do controlador PI: $K_p = 0,225$ e $K_I = 0,035$ [1].

De notar que para valores pequenos o sistema é oscilatório (pólos complexos conjugados junto ao eixo imaginário) e para valores de ganho muito elevados fazem-se sentir oscilações de alta frequência, devido a uma aproximação relativa dos pólos ao eixo imaginário [1].

2.7. Automatização

2.7.1. Descrição geral

A viabilidade económica da generalidade das PCH's está directamente dependente da possibilidade de funcionarem em modo de exploração abandonada, dispensando a permanência de pessoal operador na central. Os equipamentos de automação e controlo assumem, nestas condições, uma importância acrescida. As funções de automação, que estão a cargo dos autómatos programáveis e/ou computadores industriais, são em linhas gerais, as seguintes:

- Comando automático da central, activando os programas sequenciais de arranque, paragem e exploração em função das condições predefinidas;
- Aquisição de estados, alarmes, disparos e medidas eléctricas, mecânicas e hidráulicas;
- Sinalização de estados, alarmes e disparos;
- Ligação via linha telefónica, a um posto remoto de telecontrolo;
- Ligação via telefónica, a um sistema de telemensagem.

Particularmente importante é o algoritmo de regulação automática do nível da tomada de água dos grupos, que em face do nível registado, deve escolher o tipo de exploração adequado.

O telecontrolo permite que sejam transmitidas até um posto central de controlo todas as indicações que permitam uma exploração eficaz e segura das instalações. Por outro lado, a partir do posto de controlo deverá ser possível comandar directamente alguns órgãos da central ou desencadear a operação de funções de automação e regulação locais.

Os dados a transmitir no sentido PCH - posto de comando são, essencialmente: mudanças de estado de órgãos de manobra, alarmes e disparos, medidas eléctricas, mecânicas (velocidade do grupo e temperatura) e hidráulicas (posição dos órgãos de regulação da turbina e de válvulas e órgãos de descarga, níveis de água).

No sentido contrário, os comandos transmitidos são: abertura e fecho do disjuntor de grupo, arranque e paragem do grupo, alteração das referências de regulação (níveis, tensão) e posição de válvulas e órgãos de descarga [4].

2.7.2. Ligação Automática à Rede

Para que a energia que o gerador produz, possa ser enviada para a rede, alguns aspectos têm de ser levados em atenção para que o processo e ligação à rede se efectuem sem anomalias.

Para que isso aconteça o autómato terá um sinal que não existe nenhuma anomalia na rede e de que dispões de caudal suficiente (sinal fornecido pelo sensor ultrasónico). Por meio de um primeiro impulso transmitirá a ordem de abertura da válvula, a turbina começa a rodar e, ao atingir um número pré-definido de rotações a máquina é levada ao ponto de sincronismo. De seguida será dada ordem ao disjuntor automático a ordem de acoplamento do grupo.

Uma vez ligado o gerador à rede geral, o autómato dará ordem de actuação automática ao mecanismo de regulação da turbina por níveis.

2.7.3. Paragem Automática da Central

No caso de, com o grupo gerador acoplado à rede e a produzir energia, surgir qualquer anomalia prevista, verificar-se-á a desconexão automática do grupo com a rede, através do accionamento do mecanismo de fecho da válvula de regulação da turbina, parando desta forma, o funcionamento do grupo gerador, bloqueando a turbina e abrindo o seu disjuntor automático. Esta função será efectuada sempre que se active qualquer uma das protecções.

A protecção que tenha sido actuada ficará indicada num painel de alarmes a fim de facilitar a sua identificação.

CAPITULO 3 - Descrição Dos Equipamentos

3.1. Autómato TSX Premium

3.1.1. Generalidades

Os autómatos Modicon TSX Premium, foram desenvolvidos para atender aos principais padrões nacionais e internacionais em matéria de equipamentos electrónicos na indústria e sistemas de automação. Das principais características funcionais, pode-se destacar a imunidade, alto nível do sistema multitarefa, robustez e segurança.

O módulo de processamento é responsável pelo controlo de toda a estação PLC que engloba os módulos de I/O, tanto discretos como analógicos, módulo de comunicação, e módulos de aplicações específicas, que podem ser distribuídos ao longo de uma ou mais “racks”, ligadas via Bus X ou Fieldbus.

Na Figura 20 esta representado o processador usado nesta aplicação.

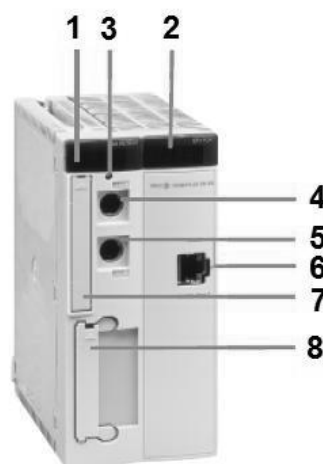


Figura 20 - Processador TSX P573623M

Elementos do módulo processador:

- 1 - Um display com 5 leds para identificação dos estados do processador.
- 2 - Um display com 5 leds para identificação dos estados da porta Ethernet.
- 3 - Botão de Reset, provoca o arranque a frio do autómato.
- 4 - Conector de comunicação TER, (conector fêmea de 8 pinos mini-DIN).
- 5 - Conector de comunicação AUX, (conector fêmea de 8 pinos mini-DIN).
- 6 - Conector RJ45 para comunicação de redes Ethernet.
- 7 - Ranhura para cartas PCMCIA de extensão de memória tipo 1.
- 8 - Ranhura para cartas PCMCIA de comunicação tipo 3.

3.1.2. Características

Este processador dispõe de algumas vantagens em relação a outros processadores, pois incorpora uma porta Ethernet TCP/IP, que permite ligações em redes industriais.

Tem capacidade de suportar até 1024 I/O discretos, 128 I/O analógicos, 32 canais de aplicações específicas e até 16 racks de expansão. A nível de memória tem disponível 64Kwords de memória RAM, com possibilidade de expansão até 384Kwords com cartas de extensão de memória PCMCIA.

Tem disponível também, módulos de comunicação PCMCIA usando RS232, RS485 com protocolos Uni-telway, Fipway, Modbus/Jbus, Modbus+, Interbus S, Profibus DP, ASCII e Ethernet [10-11].

3.1.3. Estrutura da memória

A memória destes processadores é dividida em várias áreas, que são fisicamente distribuídos pela memória RAM interna e pela extensão de memória PCMCIA.

A área de aplicação de dados é sempre na memória RAM interna, os programas de aplicação são guardados na memória RAM interna ou o cartão de memória PCMCIA. No caso das constantes tanto podem estar na memória RAM interna ou carta de memória PCMCIA.

Para a organização desta memória existem dois modos, que se diferenciam quando o processador dispõe de extensão de memória PCMCIA, ou não, como mostra a Figura 21.

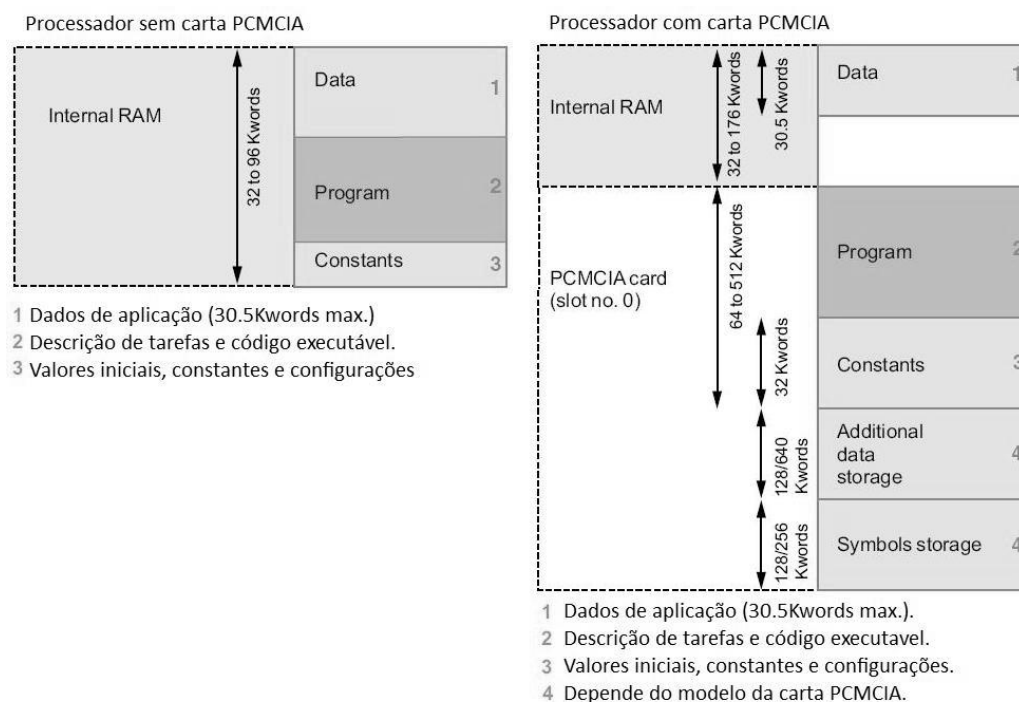


Figura 21 - Estrutura de memória de um processador, sem carta PCMCIA e com carta PCMCIA.

3.1.4. Diagnostico

Existem cinco Leds indicadores no painel frontal do processador para um diagnóstico rápido do estado do controlador, permitindo ao utilizador informações úteis durante a programação do processador e em funcionamento do programa.

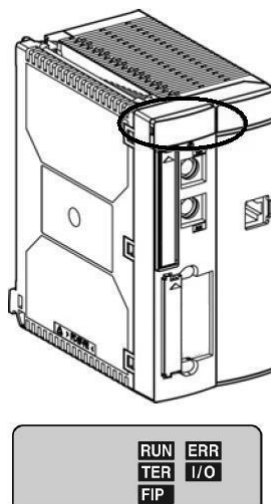


Figura 22 - Painel de diagnóstico do processador TSX P573623.

A tabela a seguir descreve o papel de cada LED e o significado que representa.

Tabela 1 - Descrição do painel de diagnóstico do autómato.

Led	Ligado	Intermitente	Desligado
RUN (Verde)	Autómato em funcionamento normal. Programa em funcionamento.	Auto-teste em andamento, ou processador parado.	Processador não configurado (sem aplicação, invalida ou incompatível).
ERR (Vermelho)	Falha do processador ou do sistema.	Autómato não configurado; Falha na memória; Falha do Bus X; Falha no programa.	Estado normal, sem falhas.
E/S (vermelho)	Falha nas entradas/saídas procedentes de um módulo, de uma via ou falha de configuração.	Falha no Bus X.	Estado normal, sem falhas.
TER (Amarelo)	Falha de hardware ou falha na Bus X.	Ligação do terminal conector activa.	Ligação inactiva.
FIP (Amarelo)	--	Ligação do bus FIPIO activa.	Ligação inactiva.

3.2. Consola Magelis XBT GT1335

3.2.1. Generalidades

A consola para a interface com o operador usada neste projecto é da gama Magelis XBT GT 1335.



Figura 23 - Magelis XBT GT 1335.

Esta consola dispõe um ecrã táctil a cores de tamanho reduzido. É ideal para aplicações onde são exigidos painéis de controlo de pequeno porte.

Esta interface permite em particular a parametrização do processo da máquina, a leitura de informações relativas a sensores, e actuadores. Permite também a um acesso simples às soluções gráficas de pilotagem e/ou de condução dos sistemas automatizados.

A configuração dos terminais é feita através de um software de programação em conformidade com o programa do autómato. As teclas de funções, de efeito táctil ou não, podem ser configuradas para obter diversos modos de comando: por impulsos ou com encravamento selectivo. Podem também ser encravadas pelo automatismo [10].

3.2.2. Características

Com esta consola, é proporcionado um equipamento bastante versátil e compacto para controlo e supervisão de ambientes indústrias. Possui um ecrã TFT táctil de 3,8 polegadas e vasta compatibilidade com vários equipamentos e protocolos de comunicação, quer da Telemecanic, quer de outras marcas.

Funções que desempenha

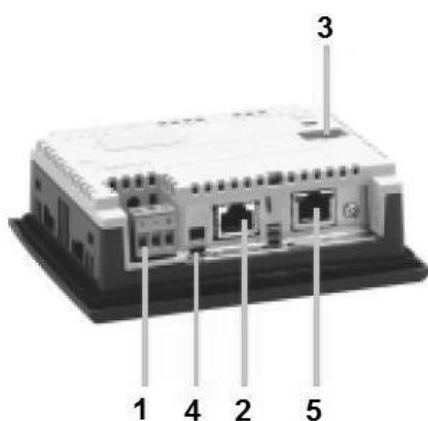
- Visualização de dados provenientes do autómato.
- Modificar parâmetros do autómato.
- Controlar o automatismo mediante comandos tudo ou nada implementados na consola.

Características principais:

- Concebidos para ambientes industriais severos.
- Compactas e robustas.
- Comando seguro, apresentando uma ergonomia com teclado ou ecrã táctil.
- Manutenção e diagnóstico possível via Web.
- Comando à distância via Ethernet.
- Possibilidades de ligação ao autómato de diversos fabricantes possíveis.
- Comunicação OPC (diversos fabricantes possíveis).
- Estações de comando descentralizadas.
- Acesso centralizado às estações locais, em pequenas salas de comando.

3.2.3. Comunicação

A comunicação entre o terminal de comando e o automatismo fazem-se por ligação série assíncrona, ponto-a-ponto ou multiponto, com protocolos standard (Modbus, Uni-telway, Ethernet, etc.), apresentando excelentes desempenhos, sendo possível a sua ligação directa sobre a rede Ethernet TCP/IP. [12]



- 1- Terminais da alimentação.
- 2- Conector RJ45 para ligações séries RS 232C ou RS 485 ao PLC (COM1).
- 3- Porta USB tipo A.
- 4- Interruptor para mudar a polarização da ligação série, usado em Modbus RS 485.
- 5- Conector RJ45 para ligações Ethernet, 10/100 BASE-T.

Figura 24-Descrição da consola Magelis XBT GT 1335.

Outra vantagem que esta consola tem é poder comunicar com equipamentos de outras marcas em protocolos de terceiros, tais como, Mitsubishi (Melsec), Omron (Sysmac), Rockwell Automation (Allen Bradley) e Siemens (Simatic).

3.3. Carta analógica TSX AEY 414

3.3.1. Generalidades

O módulo TSX AEY 414, (Figura 25), é um dispositivo de aquisição multi-gama com 4 entradas isoladas entre si. De acordo com a selecção na configuração para cada entrada, o módulo oferece varias gamas de leituras.

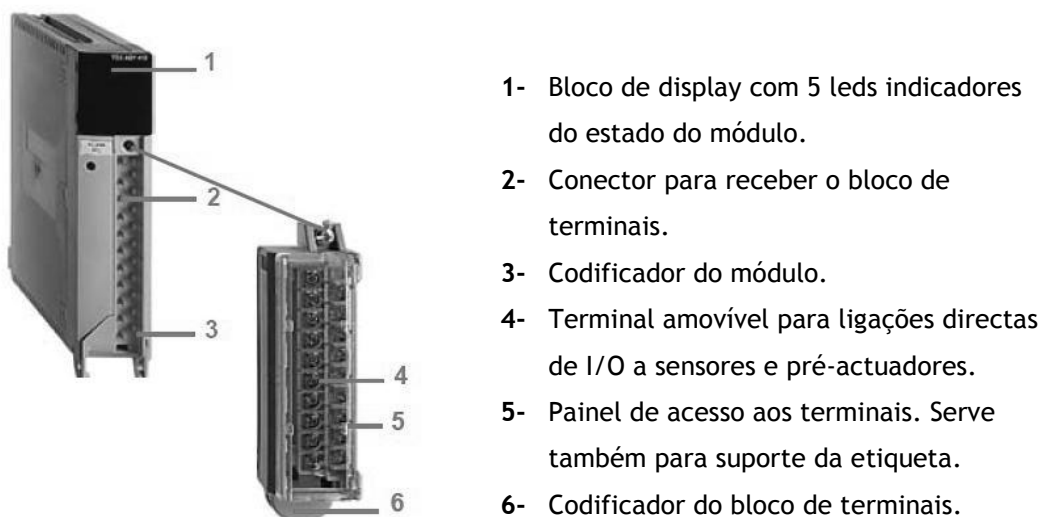


Figura 25 - Carta analógica TSX AEY 414 e identificação dos vários componentes do módulo.

3.3.2. Características

Entre as suas características temos, 4 canais de entradas isolados, um ciclo de aquisição de 550ms para os 4 canais e um conversor analógico/digital de 16 bits.

Para cada uma das suas entradas o módulo disponibiliza, 32 gamas de leitura que podem ser configuradas canal a canal [13].

Em função da escolha realizada na configuração, cada entrada pode ter as seguintes gamas:

- Termopares tipo B, E, J, K, L, N, R, S, T e U, ou gama eléctrica de -13 a 63 mV
- Termoresistências tipo Pt100, Pt1000 e Ni1000, com 2 ou 4 cabos e gama ohmica de 0-400 ohm e 0 - 3850 ohm.
- Nível alto de tensões entre +/-10, 0 - 10 V, +/-5 V, 0 - 5 V (0 - 20 mA com um shunt externo), ou 1 - 5 V (4 - 20 mA com um shunt externo).

O módulo de entrada TSX AEY 414 executa as seguintes funções:

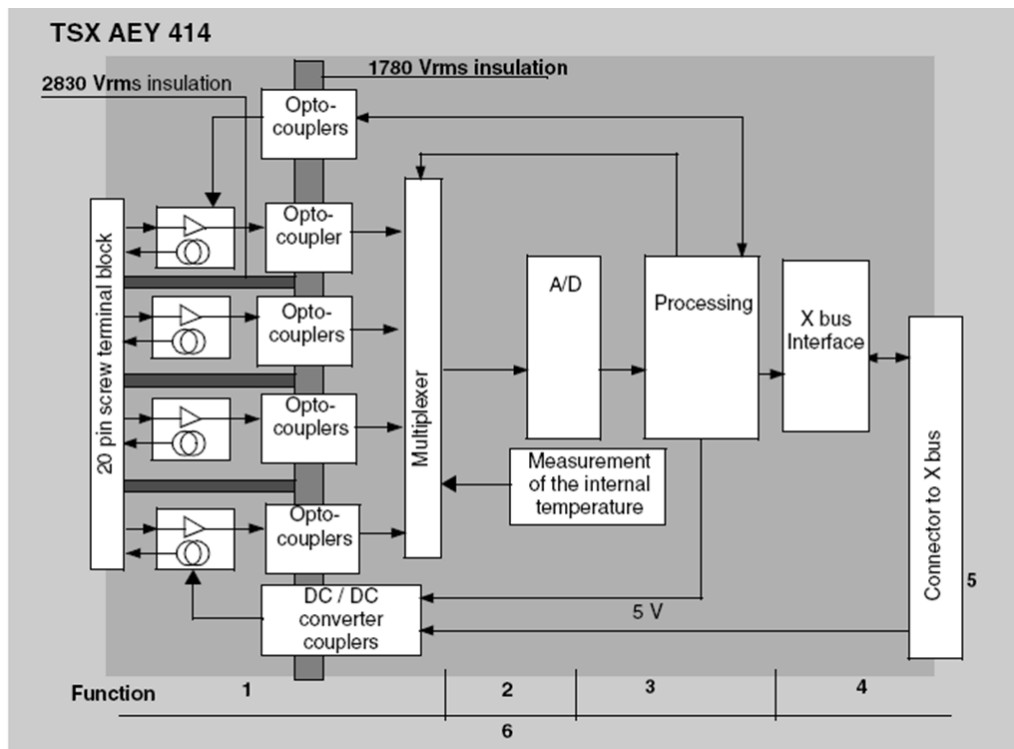


Figura 26 - Diagrama funcional módulo analógico TSX AEY 414 [10].

As funções representadas no diagrama funcional são divididas em:

- 1 - Processar e ler os sinais de entrada - Esta função faz a ligação física ao processador através do bloco de terminais, faz a selecção de ganho tendo em conta as características do sinal de entrada e executa a multiplexagem.
- 2 - Digitalizar os sinais de leitura analógicos.
- 3 - Transformação das leituras de entrada numa unidade que possa ser usada pelo utilizador - Coeficientes de alinhamento e recalibragem das medidas; linearização da leitura.
- 4 - Interface e comunicação com a aplicação - Controlo das trocas de informação com o processador; endereçamento geográfico; transmite os valores medidos e o estado do módulo à aplicação.
- 5 - Alimentação do módulo.
- 6 - Monitorização do módulo e notificação de possíveis falhas à aplicação - testa a "string" de conversão; testa a ultrapassagem dos limites da gama de valores no canal; testa a ligação aos sensores, excepto nas gamas +/-10, 0 - 10 V.

A conexão do módulo TSX AEY 414 realiza-se através do bloco de terminais com parafusos TSX BL Y O 1. Na figura abaixo está representado o bloco de terminais:

3.4.2. Características

O módulo ASY TSX 410 admite valores de saída num formato padrão, que vai de -10000 a +10000 caso a saída seja +/-10 V, e 0-10000, em intervalos de 0-20 mA e 4-20 mA [10]. Na Figura 28 está representado o diagrama funcional do módulo.

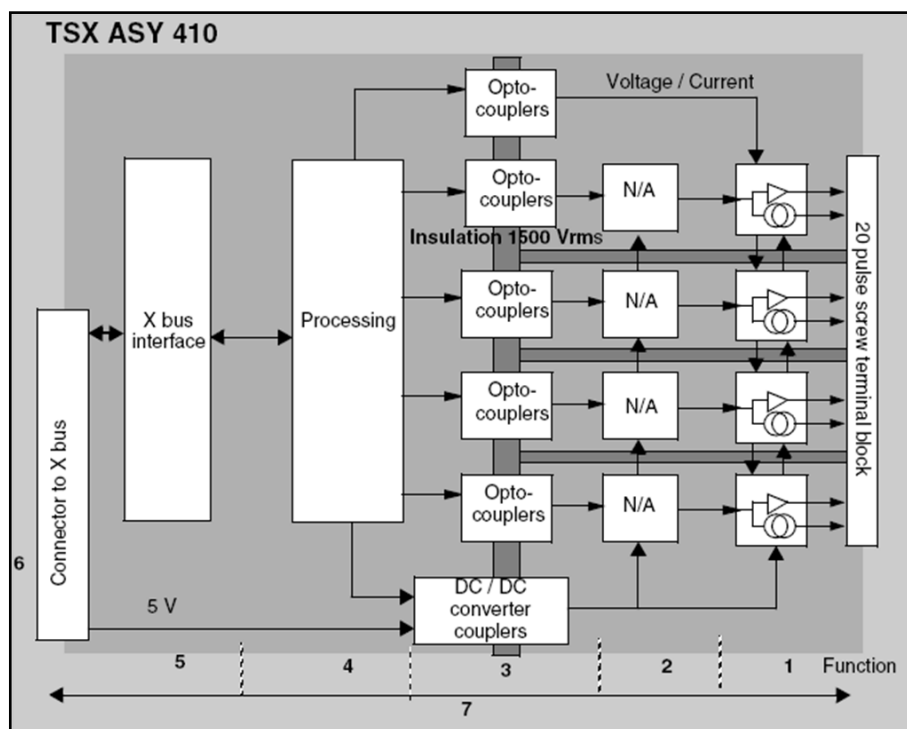


Figura 28 - Diagrama funcional do módulo TSX ASY 410 [10].

As funções representadas no diagrama funcional são divididas em:

- 1 - Ligação ao processo - Ligação física com o processo através de um bloco terminal de 20 pinos; protege o módulo contra surtos de tensão.
- 2 - Adaptação aos diferentes actuadores - A adaptação é feita em termos de tensão ou corrente.
- 3 - Conversão dos dados digitais em sinais analógicos - A conversão é feita através de 11 bits com sinal (-2048 a 2047).
- 4 - Transformação dos valores da aplicação em dados que podem ser utilizados pelo conversor analógico/digital.
- 5 - Interface de comunicação com a aplicação - Gestão de comunicação com o processador; abordagem geográfica; recepção dos parâmetros do módulo e de configuração do canal vindos da aplicação, e os setpoints dos canais; transmissão de status do módulo para o aplicativo.
- 6 - Alimentação do módulo
- 7 - Vigilância e notificação de possíveis erros na aplicação - Testa a conversão; teste de ultrapassagem de limites; testa o “watchdog timer”.

A conexão do módulo TSX 410 realiza-se mediante o bloco de terminais com parafusos TSX BLY 01, representada na Figura 29.

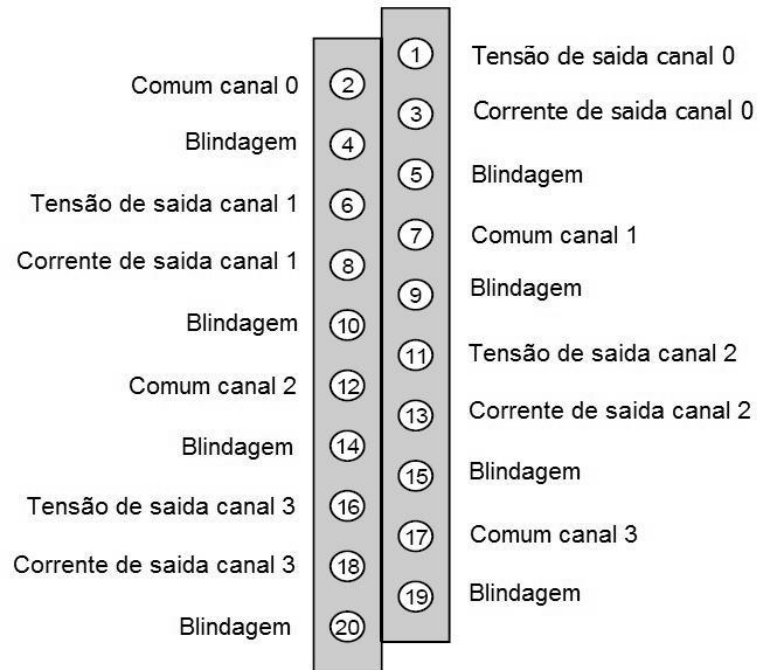


Figura 29 - Terminal de ligação do módulo analógico de saída.

3.5. Módulos discretos

3.5.1. Generalidades

Os módulos de entrada e saída discretos da gama Premium são módulos de formato standard, equipados com um conector HE10 ou um bloco de terminais TSX BLY 01, Figura 30.

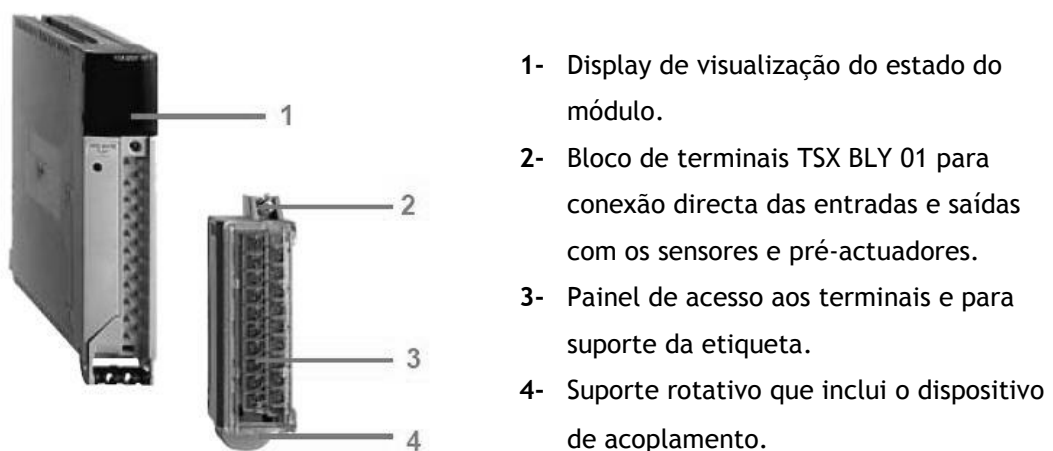


Figura 30 - Módulos discretos de entrada e saída.

Possuem uma caixa de plástico que assegura uma protecção IP 20 dos componentes electrónicos.

Cada módulo está funcionalmente organizado em grupos de 8 canais, ou seja, em 8, 16, 32 e 64 entradas ou saídas, que podem ser aplicadas a diferentes aplicações.

Estes módulos de entradas/saídas estão equipados com um display de visualização, dotado de indicadores que permitem visualizar o estado de funcionamento, indicando as possíveis falhas e também 16 indicadores de estado dos canais que indicam quando as saídas estão activas [10].

3.5.2. TSX DEY 16D2

Este módulo de entradas discretas possui, 16 entradas, que recebe dados provenientes dos sensores. Esses dados recebidos pelo módulo realiza funções como:

- Aquisição;
- Adaptação;
- Isolamento galvânico;
- Filtragem;
- Protecção contra as interferências nos sinais.

Para a ligação do módulo, com os sensores é utilizado o esquema representado na Figura 31.

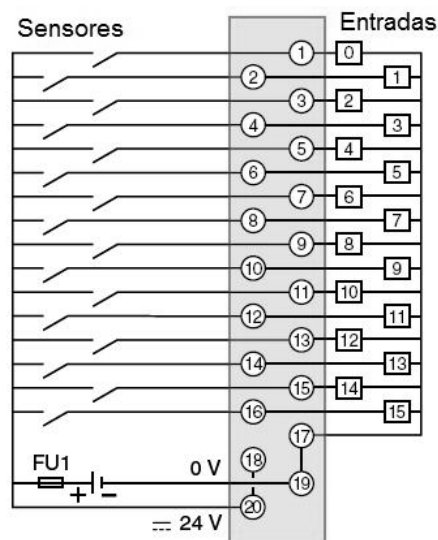


Figura 31 - Esquema de ligação do módulo TSX DEY 16D2.

3.5.3. TSX DSY 16T2

Este é um dos vários módulos discretos de saídas disponíveis na gama Premium, conta com 16 saídas, que podem ser destinadas a funções específicas.

As saídas são accionadas através de relés e triacs protegidos por um fusível que garante a segurança do equipamento.

Estas saídas desempenham funções de armazenamento das ordens dadas pelo processador, para permitir o comando dos pré-actuadores através de circuitos de desconexão e de amplificação [10].

Para ligação do módulo com saídas é utilizado o esquema representado na Figura 32.

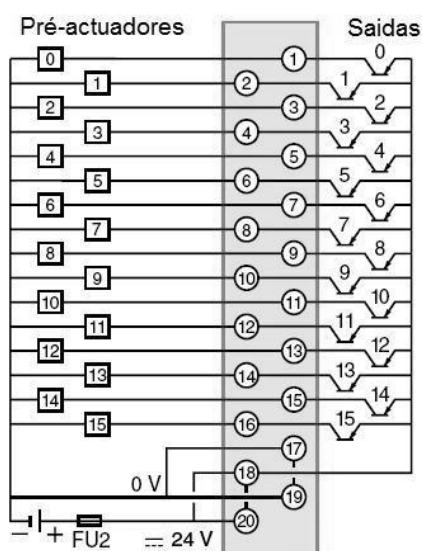


Figura 32 - Esquema de ligação do módulo TSX DEY 16T2.

3.6. Módulo de comunicação TSX ETY PORT

3.6.1. Generalidades

Este tipo de módulos que a gama Premium oferece, vem acoplado ao processador permitindo de uma só vez termos um processador e um módulo de comunicação juntos.

Com este módulo é possível a comunicação em arquitecturas ETHERNET. Estas arquitecturas permitem uma maior rapidez de transmissão de dados, logo uma maior eficiência.

3.6.2. Características

Este módulo tem uma via de comunicação que permite conexão a uma rede TCP/IP ou comunicação em modo Half e Full Duplex por reconhecimento automático. Estas conexões de rede são feitas por cabos de cobre através de um conector RJ45, permitindo velocidade de transmissão de 10 a 100Mbps/s.

De entre outras características, este módulo também realiza funções de serviço de comunicação W-WAY, UNI-TELWAY e Modbus, através de TCP/IP. Serviço de varrimento das entradas e saídas, serviço SNMP e serviço de Web que será usado neste projecto.

A comunicação ETHERNET está destinada essencialmente a aplicações de coordenação de autómatos, supervisão local centralizada, comunicação com informática de gestão de produção e comunicação com módulos de entradas/saídas remotas.

3.7. Hub

3.7.1. Características

Os Hubs ou concentradores, são utilizados para a transmissão de sinais entre vários portos de comunicação. Os hubs são dispositivos “Plug and Play” que não necessitam de qualquer configuração [10].



Figura 33 - Hub de ETHERNET para implementação de redes.

Com o uso dos hubs é possível criar diferentes topologias de redes, tais como topologias em estrela e topologias em árvore como mostra na Figura 34.

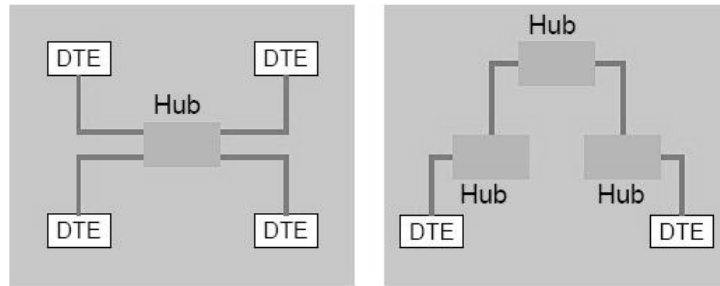


Figura 34 - Topologia em estrela à esquerda e topologia em árvore à direita. (DTE são “Data Terminal Equipment” ou seja Equipamentos com terminais de dados).

3.8. Rack TSX RKY 8

As racks TSX RKY são elementos básicos do sistema de controlo das plataformas de automação *Premium*, com racks de 6, 8 ou 12 posições, que podem ser conectadas entre si.

Estas racks permitem a fixação do conjunto dos módulos de uma estação de autómato, (módulos de alimentação, processador, módulos de entrada/saída, etc.) e asseguram a distribuição de energia através de um bus, responsável pela alimentação necessária para cada módulo e pelo envio de dados para o conjunto da estação do autómato [10].

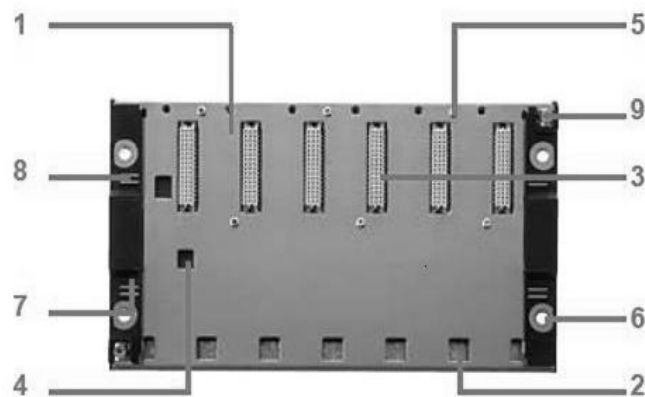


Figura 35 - Identificação dos vários elementos de uma rack standard.

Elementos que constituem de uma rack standard são:

- 1- Chapa metálica de suporte dos módulos.
- 2- Orifício de fixação dos módulos.
- 3- Conector fêmea ½ DIN 48 pinos, de conexão entre o módulo e a rack.
- 4- Orifício para a fixação do módulo de alimentação.
- 5- Rosca para o parafuso de fixação do módulo.
- 6- Orifícios para a fixação da rack.
- 7- Etiqueta de endereço da rack.
- 8- Etiqueta de endereço da rede.

3.9. Sensor ultra-sónico

3.9.1. Características

Os sensores ultra-sónicos trabalham com o princípio semelhante ao do radar ou sonar, emitindo e recebendo ondas de alta frequência. Os sensores calculam o intervalo de tempo entre o envio do sinal e a recepção do eco, para determinar a distância ao objecto.

O sensor usado tem como principais características, uma sensibilidade de 8 a 17 mV/mm que varia dependendo da regulação de um pequeno afinador. A sua tensão de saída funciona numa gama de 0 a 10V e tem um alcance máximo de 1200 mm.

Este sensor permite a sua ligação em dois modos: em modo de máxima sensibilidade para se obter pequenas variações de distância se em modo de máxima distância para medir distâncias mais longas (até 1200mm).

3.10. Válvula Proporcional

A válvula utilizada neste trabalho é uma válvula proporcional servo operada por uma solenoide actuada nos 2 sentidos e com ligação para as tubagens de 3/4”.

Através de uma regulação stepless da corrente na bobine, a armadura pode ser posicionada em qualquer posição no tubo da armadura, definindo assim uma regulação em qualquer posição entre totalmente fechada e totalmente aberta.

A válvula é alimentada a 24V e esta totalmente aberta quando a corrente na bobine atinge o valor máximo.

Capítulo 4 - Softwares

4.1. PL7 Pro

4.1.1. Generalidades

O programa PL7 Pro, é um software de programação projectado para os autómatos TSX Micro e TSX Premium. Este software pode ser usado para acesso a aplicações a todos os níveis, desde criar, ler e modificar aplicações.

Este software é uma poderosa ferramenta que permite desenvolver aplicações numa vasta gama de autómatos em 4 linguagens de programação distintas.

Numa mesma aplicação, o autómato pode funcionar com todas as linguagens em simultâneo, permitindo assim que seja usada a linguagem que melhor se enquadre a funções específicas, facilitando e simplificando a programação.

4.1.1.1. Ambiente de Programação

Para a criação de aplicações, este software fornece uma interface intuitiva e de rápida aprendizagem. No ambiente de programação estão as principais funções para que se possa criar uma aplicação. Na Figura 36 mostra o exemplo de inúmeras ferramentas disponíveis no software.

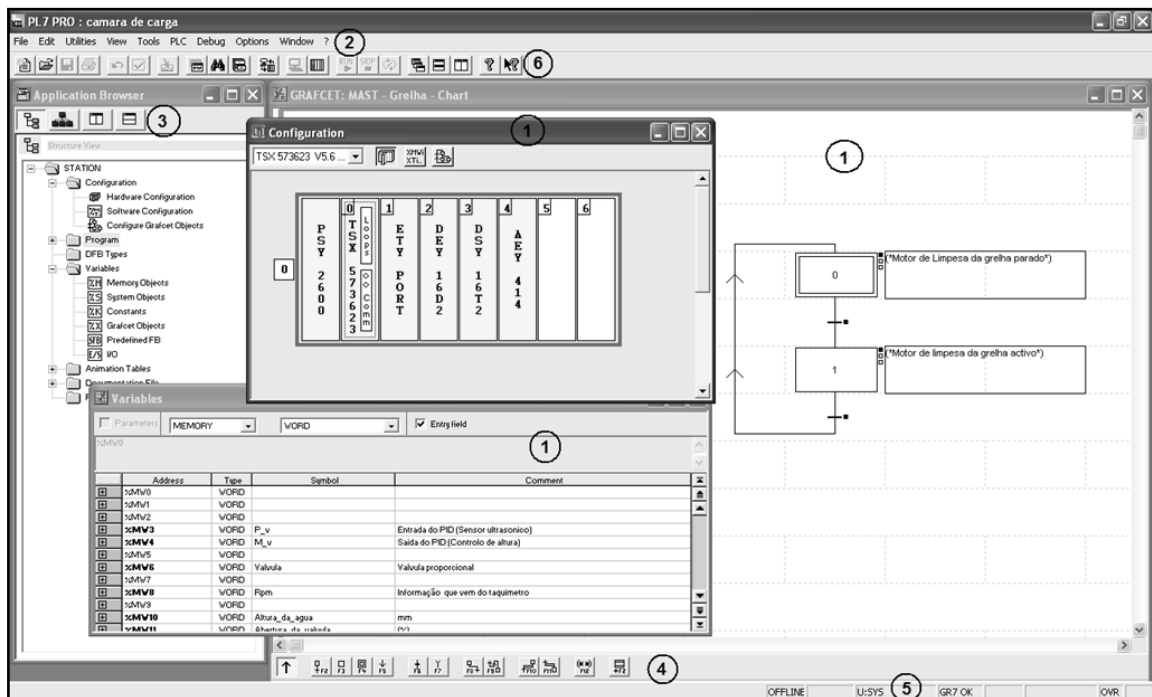


Figura 36 - Ambiente de programação do software PL7 Pro.

Elementos da Figura 36:

- 1 - Editores. Permite a criação, correcção e operação de aplicações.
- 2 - Barra de Menu. Permite o acesso a todas as funções do software.
- 3 - Navegador. Permite o acesso directo a diferentes editores.
- 4 - Barra de ferramentas dos editores.
- 5 - Barra de estado.
- 6 - Barra de ferramentas.

4.1.1.2. Barra de Ferramentas

A barra de ferramentas geral, oferece acesso rápido às funções do software básico usando o rato, como mostra na Figura 37.

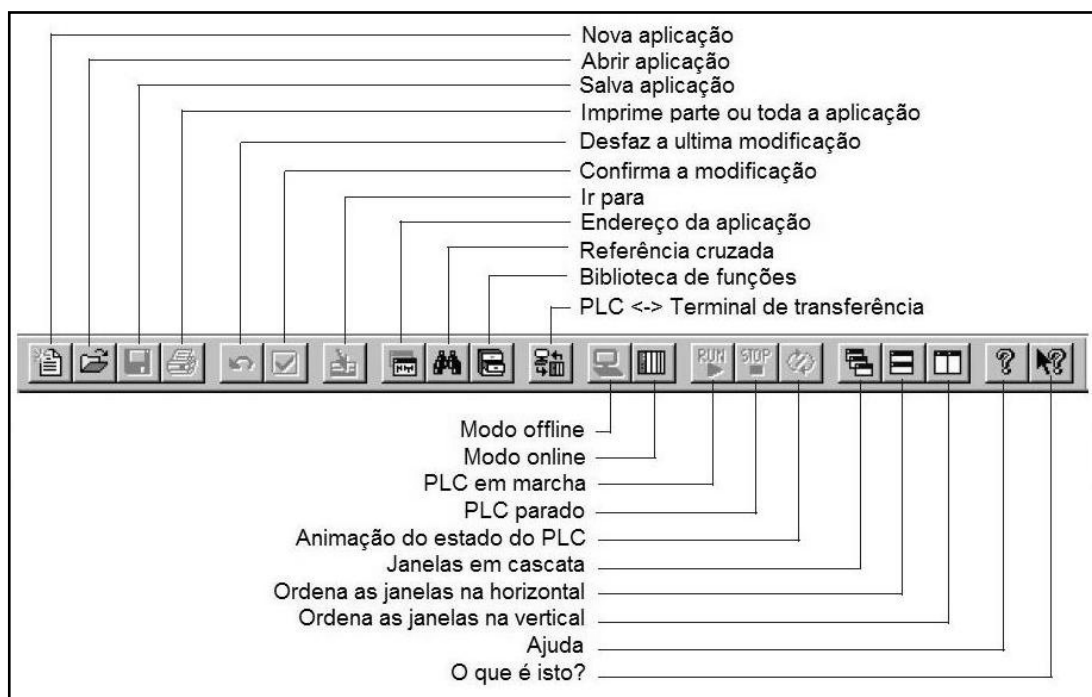


Figura 37 - Barra de ferramentas do software PL7 Pro.

4.1.1.3. Barra de Estado

A barra de estado, localizada na parte inferior do ecrã, dá uma variedade de informações relacionadas com o funcionamento do software e das ligações com o autómato.

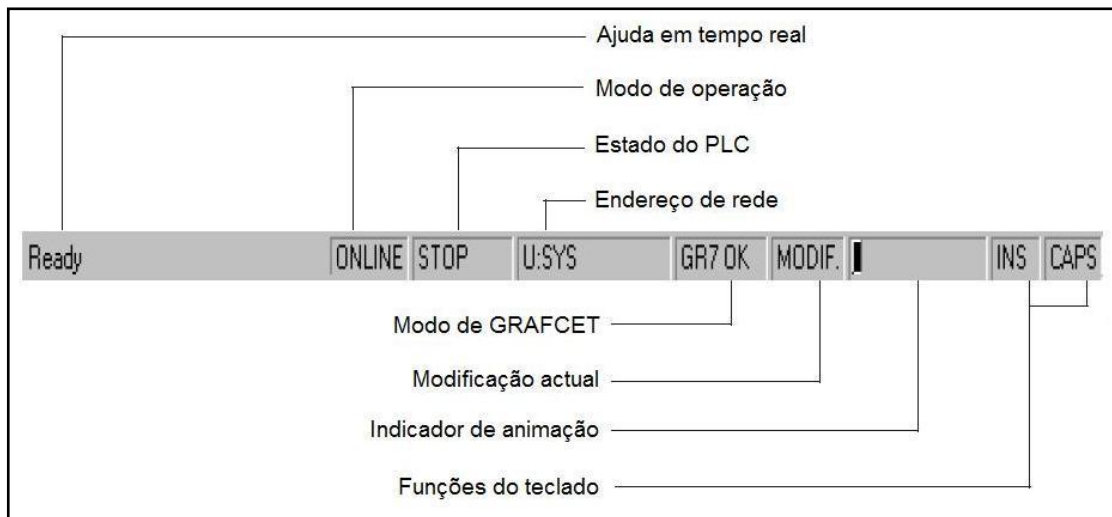


Figura 38 - Barra de estado do software PL7 Pro.

4.1.2. Desenvolvimento de uma Aplicação

4.1.2.1. Fases de Desenvolvimento

Para se iniciar uma aplicação correctamente com esta ferramenta, é exigido uma determinada ordem de acções, para que no final se obtenha um resultado satisfatório.

Na Figura 39 mostra um diagrama de blocos, com as fases de desenvolvimento de uma aplicação no software PL7 Pro.

A primeira fase de desenvolvimento é a criação de uma aplicação, que servirá de base para o resto do trabalho. Neste ponto será escolhido o tipo de PLC a ser usado, tipo de processador, o tipo de cartão de memória, que é facultativa e pode ser modificada posteriormente na configuração do processador, e os módulos necessários a execução da aplicação.

Na fase seguinte, vem o desenvolvimento da aplicação onde são editadas as configurações dos vários módulos usados, alterações de parâmetros, editadas as variáveis e a estrutura do programa, editados os blocos de funções e os ecrãs de interface com o utilizador.

Procede-se posteriormente à programação da aplicação nos vários tipos de linguagem. Após o desenvolvimento da aplicação são criadas tabelas de animação e efectua-se os testes corrigindo possíveis erros que apareçam.

É vantajoso testar as aplicações directamente no autómato transferindo a aplicação para o mesmo e proceder-se à simulação, em vez de usar o simulador do software. Assim garante-se à partida que todos os parâmetros funcionam na prática.

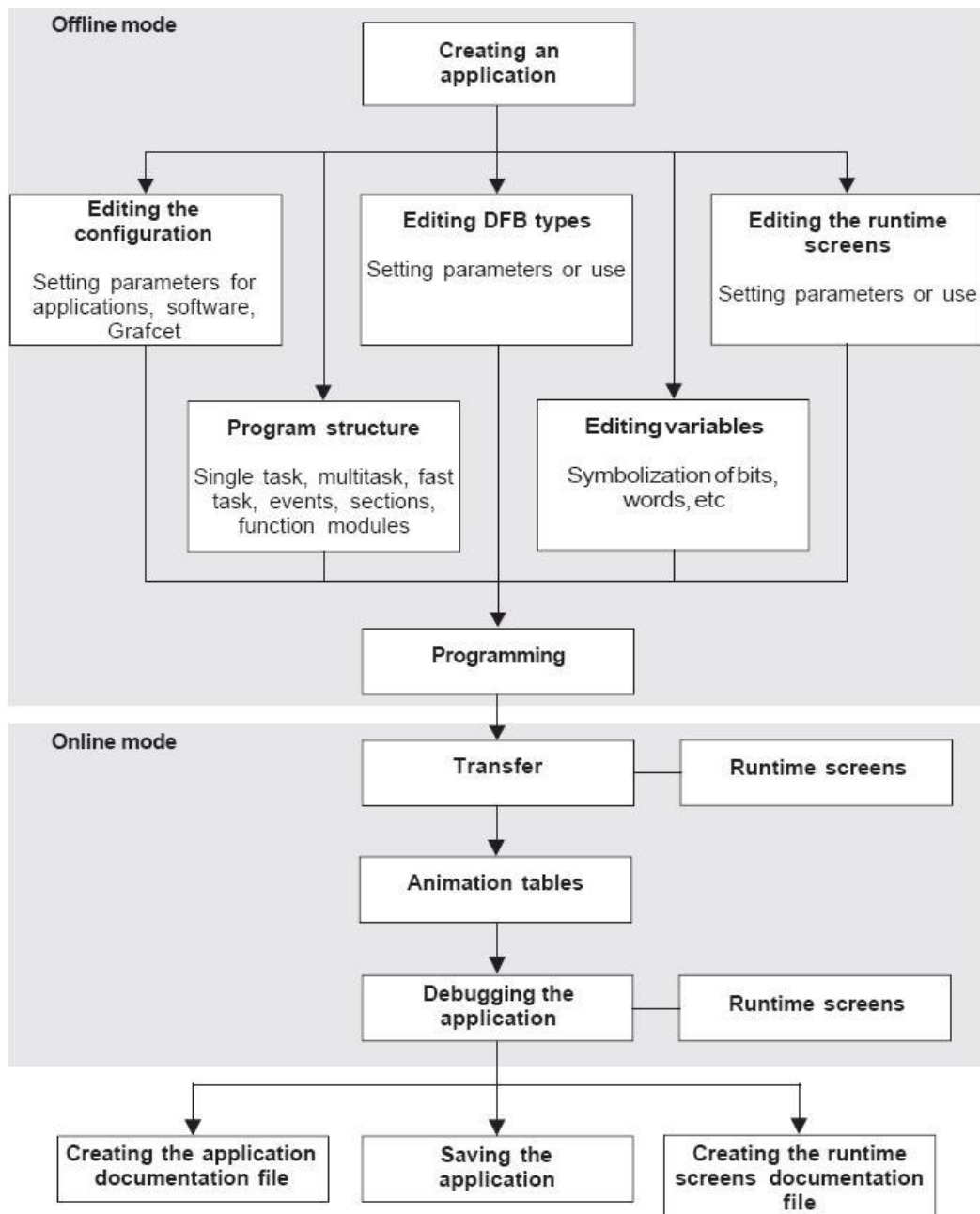


Figura 39 - Esquema de desenvolvimento de uma aplicação no PL7 Pro [10].

4.1.2.2. Estruturação dos Programas

O software PL7 permite dois tipos de estrutura. Uma estrutura mono tarefa, que consiste numa tarefa simplificada por defeito, onde a única tarefa principal (master task), que é composta por varias secções e subprogramas, é efectuada.

E uma estrutura multi tarefa que é mais adequada para aplicações a correr em tempo real, é composta por uma tarefa principal (master task), uma tarefa rápida (fast task) e eventos de processos prioritários. Quando uma tarefa rápida é chamada ou o seu ciclo inicia, a execução de tarefas de baixa prioridade é interrompido a fim de lidar com o funcionamento tarefa rápida. A tarefa interrompida volta a ser activada quando a tarefa rápida é concluída.

As tarefas principais e rápidas do programa são compostas de várias partes, chamadas secções e subrotinas. Cada uma destas secções pode ser programada na linguagem mais apropriada para o processo a efectuar.

A divisão em secções é usada para criar um programa estruturado e para gerar ou incorporar módulos de funções mais facilmente.

As subrotinas podem ser chamadas a partir de qualquer secção da tarefa principal à qual elas pertencem ou a partir de outras subrotinas na mesma tarefa. Os módulos de funções são um agrupamento de elementos de um programa de forma a desempenhar uma função automática do sistema.

4.1.2.3. Estrutura das Aplicações

A criação de aplicações com o este software é baseada em editores e ferramentas que podem ser acedidos a partir da janela do navegador presente na Figura 40. Esta janela exhibe o conteúdo da aplicação numa estrutura em árvore. É possível aceder directamente a diversas funções dependendo dos direitos do software utilizado.

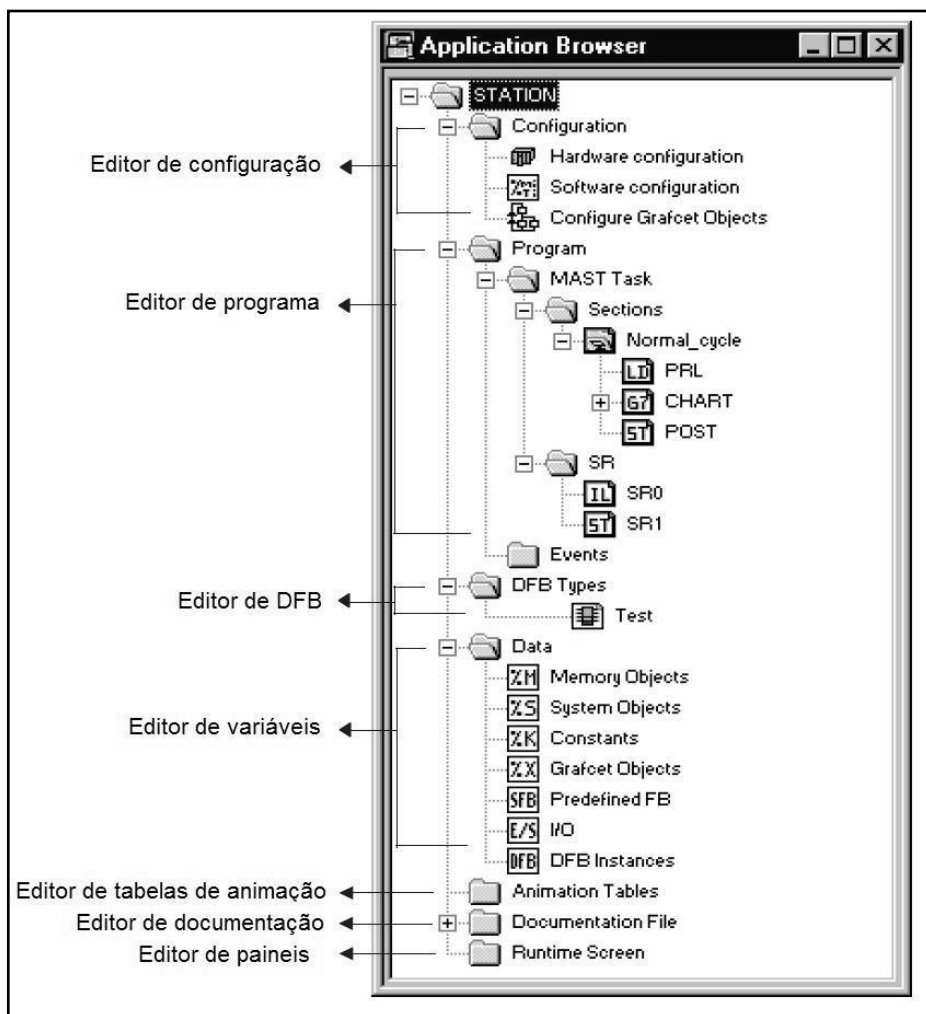


Figura 40 - Estrutura de uma aplicação no software PL7 Pro.

Para aceder a cada um dos editores basta seleccionar e abrir, lá encontram-se todas as funções específicas de cada um.

4.1.3. Editor de Configuração

O editor de configuração é usado para declarar e configurar os diversos componentes do PLC, tais como a rack, o módulo de energia, o tipo de processador, módulos de I/O, comunicação, etc.

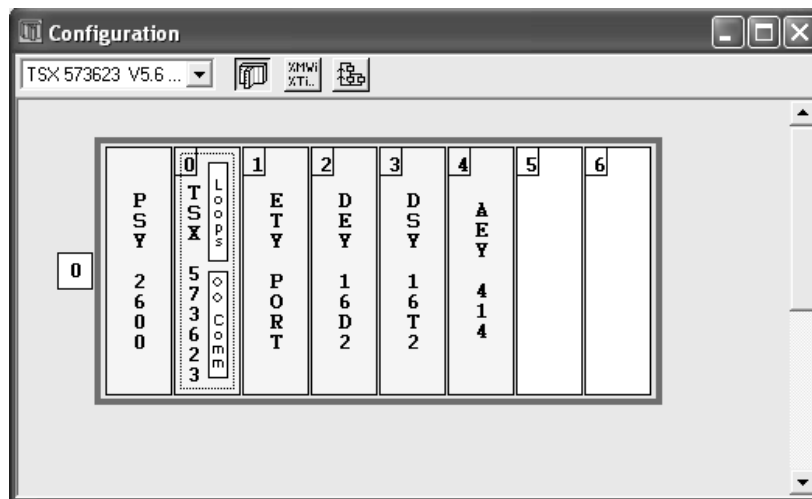


Figura 41 - Editor de configuração do software PL7 Pro.

O editor de configuração também assegura a configuração dos parâmetros da aplicação, introduzindo o nome dos blocos funcionais (DFB), dos registos e do tamanho das zonas das variáveis globais.

4.1.4. Editor de DFB's

O editor de DFB's é usado para a criação de blocos de funções para aplicações específicas, que trabalham de acordo com os requisitos pretendidos.

Estes blocos de funções são utilizados quando uma sequência da aplicação é repetida na aplicação, ou para concentrar uma operação do programa.

A sua programação é feita em texto estruturado ou em ladder. Após ser criado, este pode ser usado varias vezes na aplicação simplificando o trabalho de programação ao utilizador.

4.1.5. Editor de Variáveis

Este software admite vários tipos de variáveis e cada uma com diferentes configurações. Para isso é usado o editor de variáveis que tem como principal função a declaração das variáveis usadas na aplicação.

Através do editor é possível criar símbolos ou nomes para os diferentes objectos da aplicação (bits, words), definir parâmetros para os blocos de função pré-definida (temporizadores, contadores, etc), inserir valores de constantes e seleccionar a base de exibição (decimal, binário, hexadecimal, flutuantes, mensagem).

O acesso às variáveis é facilitado pois este editor permite a classificação das variáveis por tipo, família, por símbolos ou endereços. Permite exibir todos os objectos associados a uma variável e também a possibilidade de se fazer buscas de variáveis.

4.1.6. Editor de Programa

O editor de programa é usado para programar as funções e aplicações específicas a ser implementada na aplicação. Oferece 4 tipos de linguagem de programação:

- Lógica Ladder (LD)
- Lista de instruções (IL)
- Texto estruturado (ST)
- Grafcet (G7)

4.1.6.1. Ladder (LD)

O editor de linguagem Ladder é um editor gráfico que é usado para construir redes de contactos (transcrição de diagramas de relés), sendo a sua analogia semelhante a um esquema eléctrico.

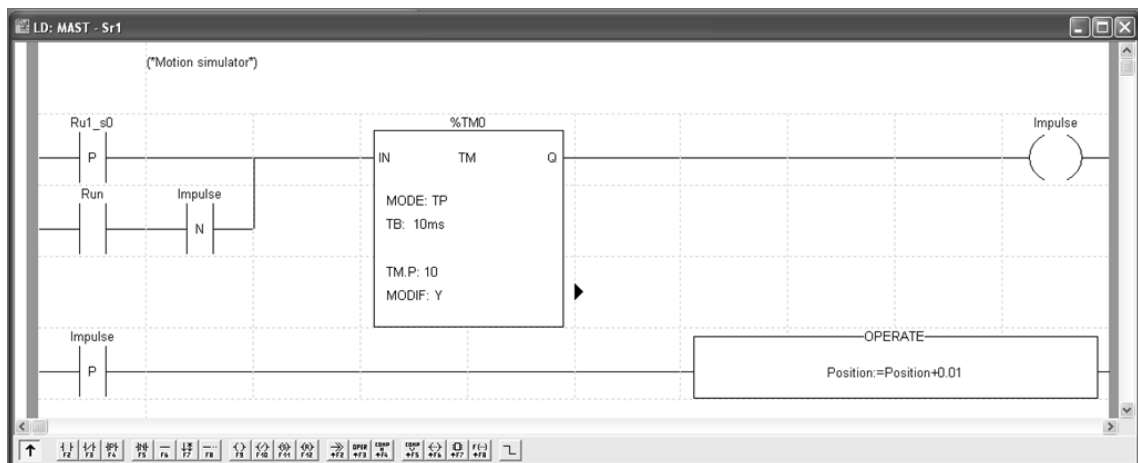
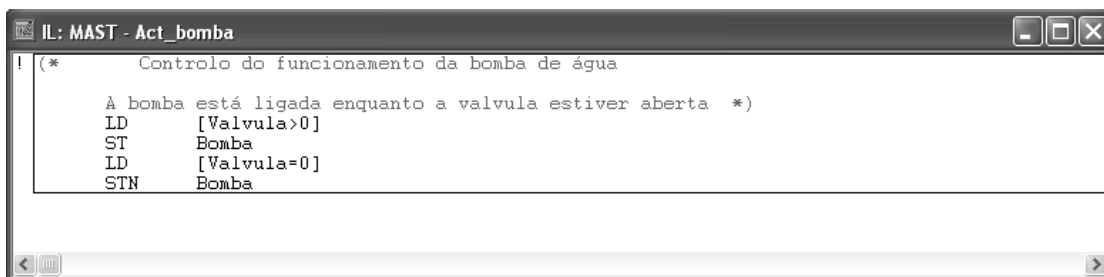


Figura 42 - Linguagem de contactos (Ladder).

Os componentes principais são contactos, bobinas e blocos de operações. Estes componentes são ligados em rede, construindo em lógica Ladder um programa que execute as funções pretendidas.

4.1.6.2. Lista de Instruções (IL)

O editor de lista de instruções é um simples editor de linhas permitindo criar e editar os programas de lista de instruções, permite escrever tratamentos lógicos e numéricos de forma booleana. Esta linguagem é a transcrição em texto de um diagrama Ladder.

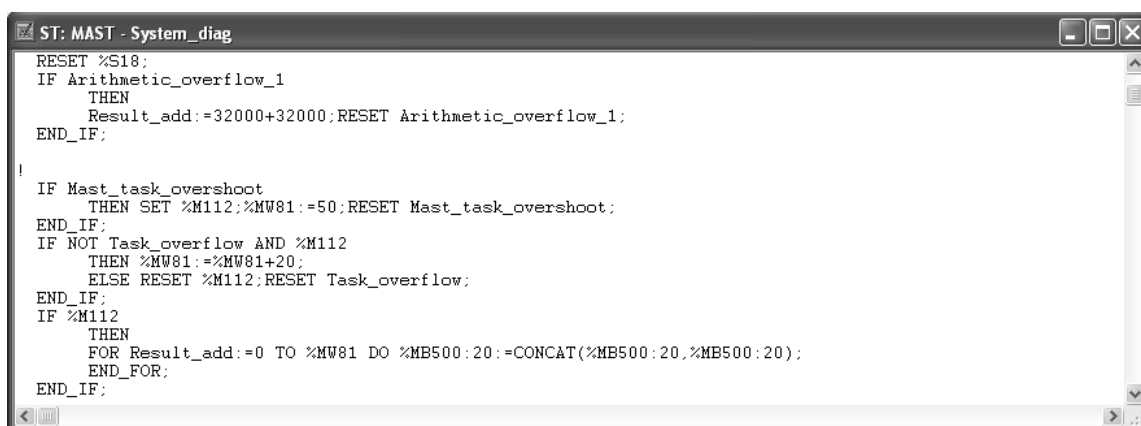


```
IL: MAST - Act_bomba
! (* Controlo do funcionamento da bomba de água
A bomba está ligada enquanto a valvula estiver aberta *)
LD [Valvula>0]
ST Bomba
LD [Valvula=0]
STN Bomba
```

Figura 43 - Linguagem em lista de instruções (IL).

4.1.6.3. Texto Estruturado (ST)

A linguagem em texto estruturado é uma linguagem sofisticada, o seu algoritmo é particularmente adequado para programar funções aritméticas complexas, operações de tabelas e manipulação de mensagens.



```
ST: MAST - System_diag
RESET %S18;
IF Arithmetic_overflow_1
THEN
Result_add:=32000+32000;RESET Arithmetic_overflow_1;
END_IF;

!
IF Mast_task_overshoot
THEN SET %M112;%MW81:=50;RESET Mast_task_overshoot;
END_IF;
IF NOT Task_overflow AND %M112
THEN %MW81:=%MW81+20;
ELSE RESET %M112;RESET Task_overflow;
END_IF;
IF %M112
THEN
FOR Result_add:=0 TO %MW81 DO %MB500:20:=CONCAT(%MB500:20,%MB500:20);
END_FOR;
END_IF;
```

Figura 44 - Linguagem em texto estruturado (ST).

O editor permite escrever operações lógicas e numéricas de forma estruturada, assemelhando-se à linguagem informática.

Com esta linguagem a transcrição de fluxogramas em programação é mais fácil do que em outro tipo de linguagem, facilitando assim a programação de uma qualquer acção.

4.1.6.4. Grafcet (G7)

O editor de Grafcet é usado para programar operações sequenciais, em uma forma estruturada em gráficos. Este editor é composto de 8 páginas de 14 linhas e 11 colunas que definem células que são capazes de receber elementos gráficos.

A linguagem Grafcet é usada para descrever, de forma simples e gráfica, uma parte sequencial de uma aplicação do sistema de controlo.

Os elementos gráficos básicos são blocos de acções e blocos de transição. Após a construção da estrutura, cada um dos blocos é programado para exercer diferentes acções quando são activos. Os blocos podem ser programados em lógica ladder, lista de instruções ou texto estruturado.

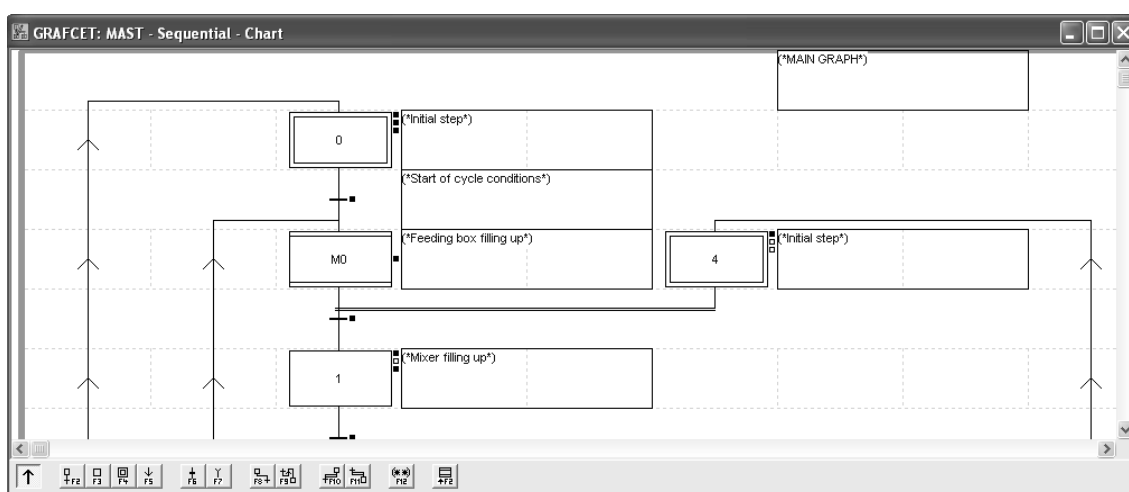


Figura 45 - Linguagem em Grafcet.

4.1.7. Editor de Tabelas de Animação

Este editor é usado para criar tabelas contendo uma lista das variáveis principais da aplicação, a fim de serem monitorizadas ou modificadas. Uma aplicação importante destas tabelas é a simulação da aplicação, forçando as variáveis de entrada pode-se ver em tempo real a reacção nas saídas.

As tabelas podem criar-se por introdução, ou iniciar-se automaticamente a partir de secções do programa.

Modification	Address	Symbol/Name	Current value	Kind	Type	Comment
F3 Modifij	%M20	Arranque				Arranca a mini-hidrica quando esta esta parada
F7 0	%M19	Paragem				Paragem da mini-hidrica quando esta em funcionamento
F8 1	%M21	Emergencia				Paragem de Emergencia
Forcing	%M25	Reactivação				Quando a turbina embala é necessario verificar o que se pa
F4 Force to 0	%M15	Act_manual_grelha				Activação manual do mecanismo de limpeza da grelha de c
F5 Force to 1	%I2.1	Nivel_superior				Nivel da boia superior
F6 Unforce	%I2.2	Nivel_inferior				Nivel da boia inferior
Display	%IW4.1	Sensor_altura				Sensor ultrasónico para ler a altura da água
Dec. ▾	%IW4.2	Taquimetro				Sensor de velocidade da turbina
	%M24	Rotação_high				Turbina teve um corte brusco e embalou numa rotação ele
	%M14	Grelha_colmatada				Sensor que detecta quando a grelha esta colmatada
	%M16	Fim_curso_grelha				Sensor da posição inicial do mecanismo de limpeza da gre
	%MW6	Valvula				Valvula proporcional
	%MW4	M_v				Saída do PID (Controlo de altura)
	%MW71	V_s				Saída do PID2 (Controlo de rotação)
	%M7	Lig_rede				Ligação do gerador á rede

Figura 46 - Editor de tabelas de animação.

Para cada variável numérica é possível seleccionar a base de exibição (decimal, binário, ponto flutuante, a mensagem ASCII).

4.1.8. Função de Regulação

As funções de regulação são elementos básicos da linguagem PL7. Elas apoiam a programação da regulação de ciclos dos PLC's Premium e Micro.

Estas funções servem para responder às necessidades de processos sequenciais, que necessitam funções de ajuste, processos com ajustes simples e regulação mecânica com um tempo de amostragem pequeno.

4.1.8.1. Regulação PID

As funções PID (Proporcional Integral Derivativo) são funções de base do software PL7, podendo aceder-se a elas através da biblioteca de funções facilitando assim a sua programação.

Esta função realiza uma correcção PID, a partir de uma medida analógica e de um ponto de ajuste (Setpoint) no formato [0-10000]. Também proporciona um comando analógico no mesmo formato. Para um funcionamento correcto do PID, deve-se respeitar a escala completa para a medida analógica e o ponto de ajuste.

A sintaxe de chamada da função PID é representada da seguinte forma:

$$PID(TAG, UNIT, PV, AUTO, PARA)$$

Para cada um dos parâmetros existe uma configuração que irá definir o comportamento da regulação pretendida. Em baixo está descrito o que cada parâmetro representa.

- **TAG**

Parâmetro de entrada que define o nome do controlador e tem um tamanho máximo de 8 caracteres.

- **UNIT**

Parâmetro de entrada que define as unidades de medida usadas e tem um tamanho máximo de 6 caracteres.

- **PV**

Parâmetro de entrada que representa a medida para o controlador. Pode ser do tipo %MWi ou %IWxy.i.j.

- **OUT**

Parâmetro de saída analógica do controlador com gama de [0-10000] ou [0-5000] se TI=0. Pode ser do tipo %MWi ou %IWxy.i.j

- **AUTO**

Parâmetro de entrada e saída que define o modo de funcionamento do PID, manual se tiver valor lógico "0" ou automático se tiver valor lógico "1". Pode ser do tipo %MWi, %IWxy.i.j ou %Qxy.i.

- **PARA**

Parâmetros de entrada e saída que definem os bits internos do PID, serão descritos na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Este parâmetro é escrito na forma %MWi:43. O valor 43 é uma valor informativo que indica o espaço de memória necessário estar livre para o funcionamento correcto do controlador, no caso do PID são 43 posições de memória seguidas ao parâmetro *PARA*.

Tabela 2 - Definição dos parâmetros PARA.

Parâmetro	Tipo	Função
SP	%MWi	Valor do Setpoint interno com o formato 0/10000
OUT_MAN	%MW(i+1)	Valor da saída manual do PID (entre 0 e 10000)
KP	%MW(i+2)	Ganho proporcional do PID (entre -10000 e 10000)
TI	%MW(i+3)	Tempo integral do PID (0-20000) expresso em 10^{-1} segundos
TD	%MW(i+4)	Tempo derivativo do PID (0-20000) expresso em 10^{-1} segundos
TS	%MW(i+5)	Intervalo de amostragem do PID (entre 1 e 32000) expresso em 10^{-2} segundos
OUT_MAX	%MW(i+6)	Limite superior da saída do PID em modo automático (entre 0 e 10000)
Out_MIN	%MW(i+7)	Limite inferior da saída do PID em modo automático (entre 0 e 10000)
PV_DEV	%MW(i+8):X0	Seleccção da accção derivativa 0: segundo medida, 1: segundo desvio
NO_BUMP	%MW(i+8):X4	Modo com ou sem perturbações 0: com perturbações, 1: sem perturbações
DEVAL_MMI	%MW(i+8):X8	0: o diálogo do operador utiliza o PID 1: inibe a tomada em conta do PID pelo diálogo do operador.

4.2. Vijeo Designer

4.2.1. Generalidades

O software de configuração Vijeo Designer pertencente à família da Schneider Electric. É um programa de desenvolvimento de ambientes gráficos para consolas de interface gráfica. Permite a criação de aplicações para operação de sistemas de controlo nas interfaces gráficas XBT GT, GK, GTW e nos PCs industriais Smart & Compact iPC [14].

4.2.1.1. Ambiente de programação

O ambiente de programação deste software permite o desenvolvimento rápido e simples de projectos. Devido à sua ergonomia avançada usando 6 janelas configuráveis e com uma extensa biblioteca de imagens e ícones, consegue representar qualquer esquema industrial.

Os principais elementos do ambiente de desenvolvimento deste software, que estão representados na Figura 47 são:

- 1- Painel de desenvolvimento e visualização de informações.
- 2- Propriedades dos objectos.
- 3- Biblioteca de objectos gráficos animados.
- 4- Relatório de operações.
- 5- Listagem de objectos usados.
- 6- Navegador de desenvolvimento de aplicações.

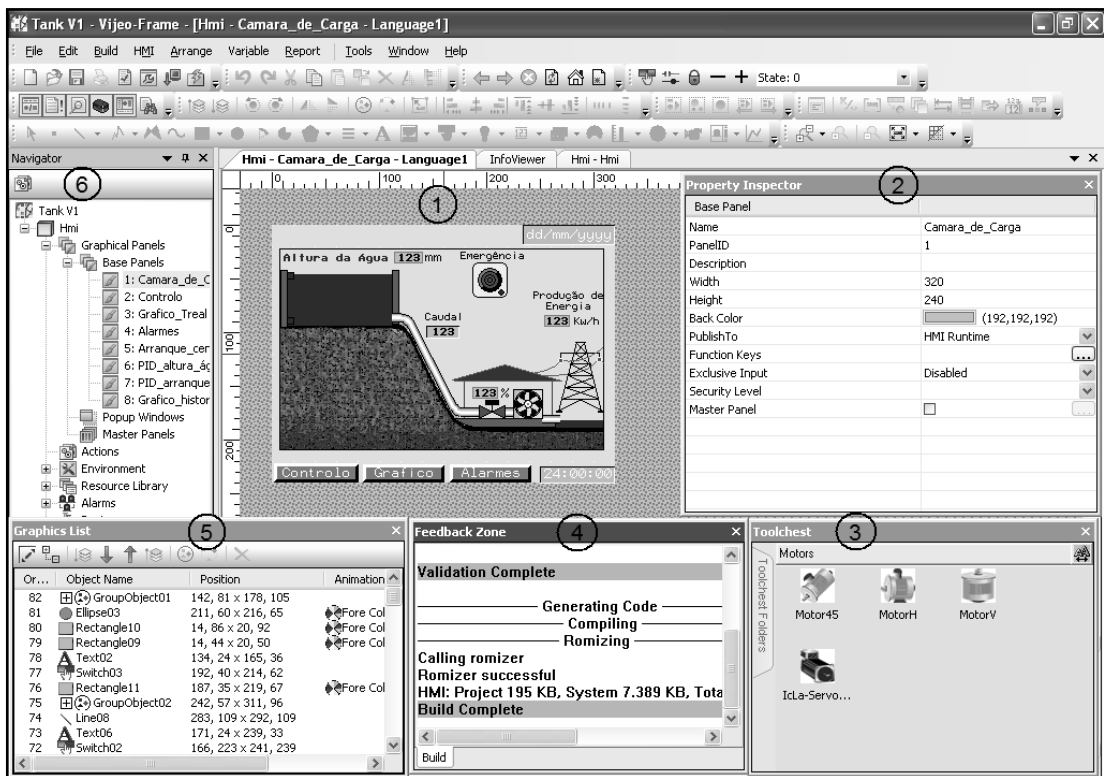


Figura 47 - Ambiente de desenvolvimento do software Vijeo Designer.

Cada janela fornece informações relativas ao projecto ou a um objecto específico no projecto. Tem a possibilidade de personalizar o seu ambiente de trabalho movendo ou redimensionando as janelas. Para se ter acesso a estas janelas basta seleccionar o ícone correspondente que está localizado na barra de ferramentas.

4.2.2. Desenvolvimento de uma Aplicação

4.2.2.1. Criar uma Aplicação

Para se desenvolver uma aplicação correcta e eficazmente neste software este obedece a uma determinada ordem de acções que permite ao utilizador desenvolver com maior rapidez a sua aplicação.

O primeiro passo na criação de aplicações é a definição do equipamento onde irá funcionar a aplicação desenvolvida no software.

De seguida define-se as comunicações com o controlador. Este software admite vários tipos de protocolos de comunicação e ligação a vários tipos de controladores em simultâneo. Para se inicializar a aplicação define-se um protocolo de comunicação, posteriormente podem ser adicionados outros protocolos de comunicação.

Após ser definida a comunicação, são declaradas as variáveis e criados os painéis que iram representar o ambiente de trabalho na consola. Aqui poder-se-á visualizar e alterar dados do controlador.

Por fim basta construir o projecto. A construção do projecto consiste em verificar os erros de compilação da aplicação.

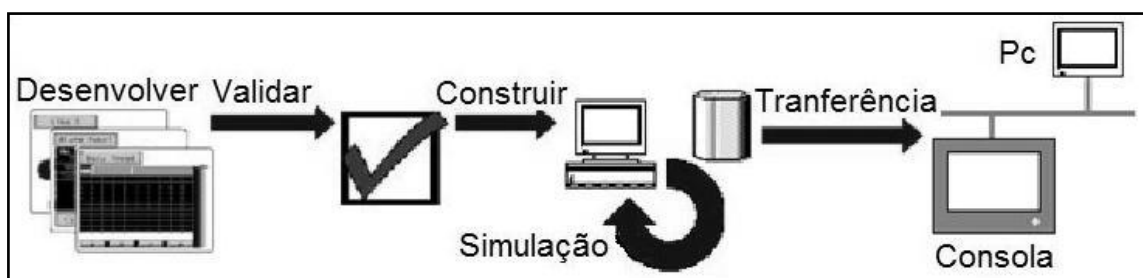


Figura 48 - Sequência de desenvolvimento de uma aplicação para a consola Magelis.

Neste ponto a aplicação está pronta para ser transferida para a consola. A transferência pode ser feita através de cabo USB, ligação Ethernet ou por transferência de ficheiros com um qualquer dispositivo de armazenamento de dados (ex. PEN Drive).

4.2.2.2. Estrutura das Aplicações

A criação de aplicações com o este software é baseada em editores. Estes podem ser acedidos a partir da janela de navegação, como mostra a Figura 49. Esta janela exhibe o conteúdo da aplicação numa estrutura em árvore.

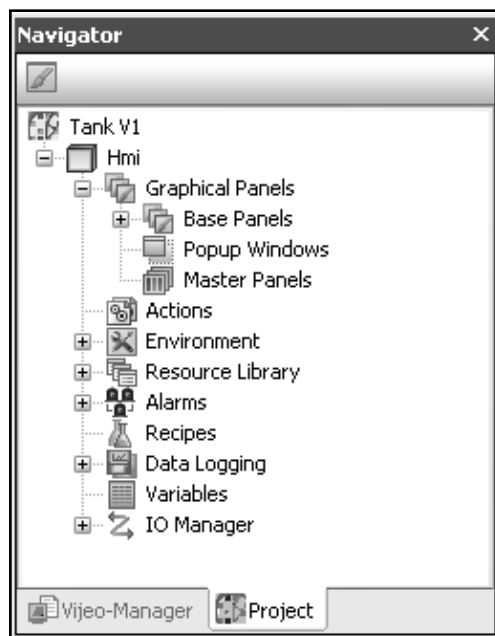
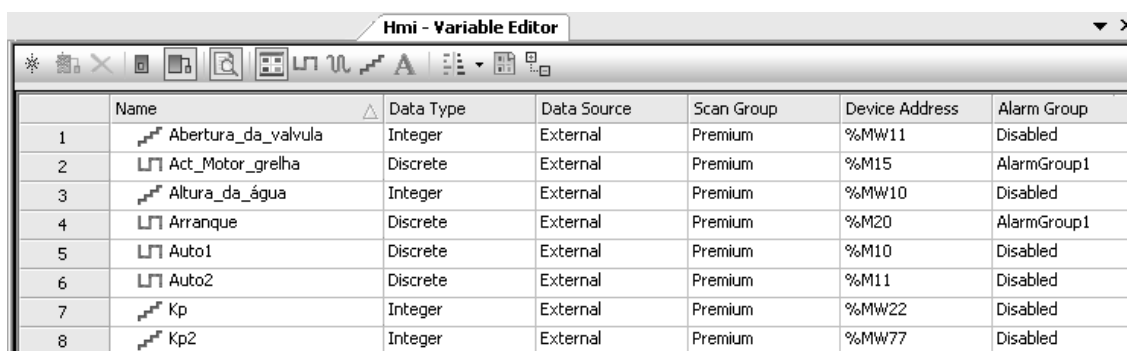


Figura 49 - Janela de navegação do software Vijeo Designer.

4.2.3. Editor de variáveis

No editor de variáveis é possível a criação e configuração das variáveis a serem usadas na aplicação. Na barra de ferramentas estão disponíveis as funções necessárias para o desenvolvimento e visualização dessas variáveis.

Existem seis tipos de variáveis neste software: inteiras, discretas, flutuantes, string, bloco de inteiras e bloco de flutuantes. O Vijeo Designer também oferece outro tipo de variável, por estrutura, que é um bloco que contém múltiplas variáveis agrupadas.



	Name	Data Type	Data Source	Scan Group	Device Address	Alarm Group
1	Abertura_da_valvula	Integer	External	Premium	%MW11	Disabled
2	Act_Motor_grelha	Discrete	External	Premium	%M15	AlarmGroup1
3	Altura_da_água	Integer	External	Premium	%MW10	Disabled
4	Arranque	Discrete	External	Premium	%M20	AlarmGroup1
5	Auto1	Discrete	External	Premium	%M10	Disabled
6	Auto2	Discrete	External	Premium	%M11	Disabled
7	Kp	Integer	External	Premium	%MW22	Disabled
8	Kp2	Integer	External	Premium	%MW77	Disabled

Figura 50 - Editor de variáveis do software Vijeo Designer.

As variáveis podem ser externas ou internas. As variáveis externas são usadas pelo software para comunicar com o controlador através de diferentes tipos de protocolos.

As variáveis internas são apenas usadas para executar funções dentro da consola pelo software.

4.2.4. Editor Gráfico

Para desenvolver as funções de cada painel é usado o editor gráfico. Este editor permite desenvolver interfaces para objectos simples, bem como para objectos mais sofisticadas.

Com objectos simples é possível a criação e configuração de pontos, linhas, rectângulos, elipses, medidores, gráficos em pizza, polígonos, polígonos regulares, textos, imagens, entre outras.

Os objectos mais sofisticados estão pré-configurados, facilitando a sua aplicação. Estes objectos são compostos por botões de pressão, indicadores, botões rotativos, tanques, gráficos de barra, potenciômetros, selectores, campos de texto ou número, listas numeradas, entre outras presentes neste software.

4.2.5. Biblioteca de Objectos

A biblioteca de objectos é uma pasta para armazenar desenhos, animações, painéis, grupos de alarme, objectos gráficos e imagens.

Ela inclui mais de 4000 imagens industriais em 2 ou 3 dimensões. Basta arrastar e soltar o objecto e posicioná-lo sobre o painel que está a ser criado. Objectos criados pelo usuário podem ser adicionados a esta biblioteca, usando o mesmo método de arrastar e soltar, mas desta vez para o interior da biblioteca.

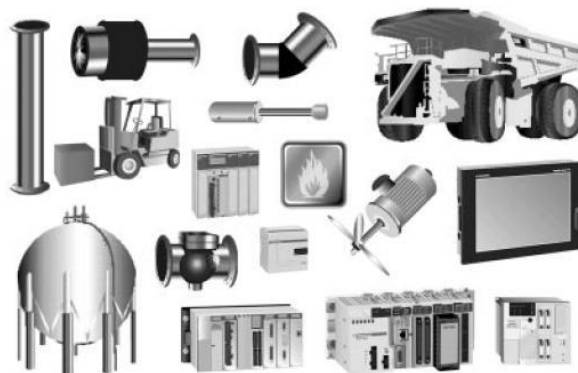


Figura 51 - Exemplo de algumas animações e objectos presentes na biblioteca do software Vijeo Designer.

Os objectos podem ser usados em vários painéis ou em várias máquinas de diferentes destinos, são independentes, portanto estão disponíveis para qualquer projecto.

4.2.6. Editor de alarmes

Com o editor de alarmes pode-se criar uma lista de alarmes num painel, usando o resumo de alarmes para monitorização do automatismo. Quando um erro ocorre e um alarme é activo ele pode ser indicado numa lista de alarmes.

Indicando os erros através do painel de alarmes, para além de aparecer uma mensagem de erro, é mostrado outro tipo de informações tais como a data e hora da activação do alarme.

Para exibir uma mensagem de alarme num resumo de alarmes, é preciso organizar grupos de alarmes. Os alarmes são configurados nas variáveis, e posteriormente atribuída a variável a um grupo de alarmes.

Outra forma de indicar alarmes é através de alarmes bandeira. Este tipo de alarmes é indicado através de mensagens rotativas que surgem no fundo dos painéis onde se detecta o erro.

4.2.7. Editor de Gráficos

Com o editor de gráficos do Vijeo Designer, podem-se criar 3 tipos de gráficos, gráficos em tempo real, gráficos históricos e gráficos por parcelas, que indicam as variações dos valores das variáveis.

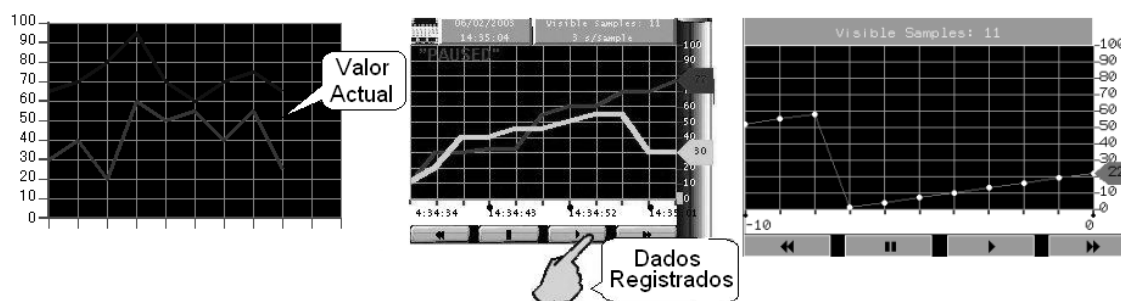


Figura 52 - Representação dos três tipos de gráficos que se podem criar com o Vijeo Designer. À esquerda o gráfico em tempo real, ao centro o gráfico histórico, à direita o gráfico por parcelas.

O software utiliza o registo de dados (Data Logging) para armazenar os valores das variáveis. Com o registo de dados pode-se especificar as variáveis a registar, determinar as frequência de amostragem dos dados e onde os dados serão armazenados.

Com as amostras de valores recolhidas basta utilizar o gráfico que melhor se adapta aos requisitos pretendidos. Cada gráfico admite mais que uma variável e a mesma variável pode ser usada em todos os tipos de gráficos em simultâneo.

4.2.8. Simulador

Depois de se desenvolver o software, pode-se descarregar o projecto para a consola e executar o aplicativo. No entanto podem tomar-se medidas para garantir que o projecto se encontra sem erros antes de o descarregar.

Usando a simulação, é possível executar testes e ensaios no computador sem ter de estar ligado à consola.

Além de simplesmente simular a exibição da interface gráfica do usuário, pode-se simular endereços de um dispositivo sem se conectar ao equipamento. O Vijeo Designer simula equipamentos de comunicação alterando os valores das variáveis com padrões especificados, como uma onda sinusoidal ou valor incremental.

4.2.9. Transferência de Projectos

O software Vijeo Designer proporciona vários métodos de transferência de projectos. Através de uma ligação física entre o computador e a consola a transferência pode ser feita via Ethernet, cabo USB ou através de um cabo ligação série.

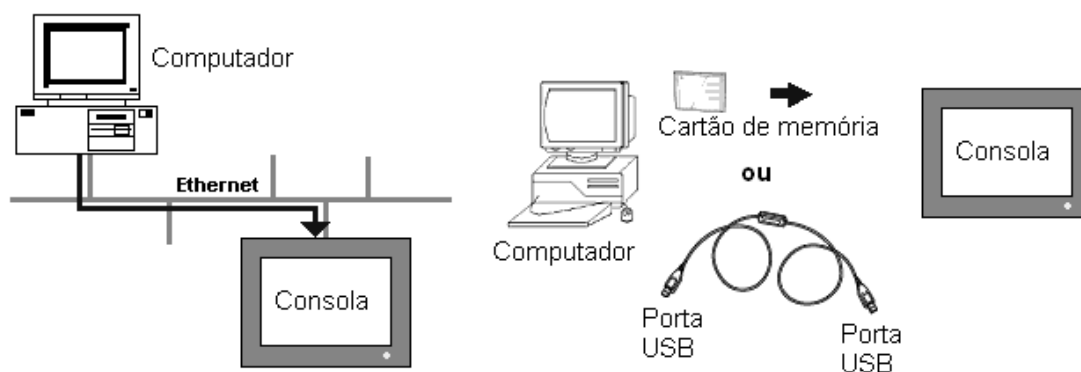


Figura 53 - Exemplo de alguns métodos de transferência de projectos.

Quando não existe nenhuma ligação física ou a consola está num sítio remoto, a transferência pode ser feita através de ficheiros de sistema utilizando cartões de memória ou dispositivos de armazenamento de dados (USB Flash Drives).

CAPITULO 5 - Controlo De Um Pequeno Aproveitamento Hidroeléctrico

5.1. Introdução

Apesar da dimensão dos pequenos aproveitamentos hidroeléctricos o seu controlo não é proporcional ao seu tamanho, exige até um maior cuidado a fim de se poder optimizar o funcionamento e produção.

A regulação de nível deve ser tratada de maneira especial, devido a vários factores que influenciam no caudal de entrada e de saída, e também ao alto índice de renovação de água exigido pelo processo.

Pretende-se então maximizar a potência gerada para um caudal afluente disponível. Isto impõe, que em cada instante o caudal efluente acompanhe o caudal afluente à câmara de carga [1]. Para isso é necessário actuar no injector da turbina ou nas pás do distribuidor, dependendo do tipo de turbina, e que esta consiga turbinar todo o caudal afluente.

Como objectivo principal desta simulação, tem-se a utilização de uma consola táctil para comandar e controlar parâmetros relativos ao funcionamento do controlo do nível de água na câmara de carga, através de um controlador PID configurado no autómato.

5.2. Funcionamento da Simulação

Este projecto consiste na manutenção do nível da câmara de carga numa cota de referência, para isso o autómato irá actuar sobre uma válvula proporcional à saída da tina, esta irá simular o injector da turbina.

O valor da cota pretendida, será introduzido através de uma consola táctil. Esta consola não serve apenas para introduzir valor para a cota, mas também para o comando e supervisão de toda a central mini-hídrica.

5.2.1. Arranque

Em estado estacionário, a turbina encontra-se parada e a válvula do injector da turbina fechada. Quando o autómato recebe o sinal de arranque, a válvula abre e a turbina começa a girar.

Aqui válvula de saída será comandada pelo primeiro controlador PID implementado no autómato. Este primeiro controlador apenas funciona no arranque, e tem como função controlar a rotação da turbina até chegar à velocidade de sincronismo.

Atingida esta rotação será dada ordem de acoplamento do gerador assíncrono à rede, através de um disjuntor automático.

Uma vez ligado o gerador à rede com uma velocidade constante, o autómato inicia o segundo controlador PID. Regulando a válvula através do parâmetro de nível da água na câmara de carga.

Neste ponto a turbina funciona a uma velocidade constante, turbinado todo o caudal afluyente disponível.

5.2.2. Protecção e Monitorização

No caso de, com o gerador acoplado à rede a produzir energia, surgir qualquer tipo de anomalia que afecte a turbina ou a produção de energia, verificar-se-á a desconexão automática do gerador com a rede, através do accionamento do mecanismo de fecho da válvula de protecção da turbina, parando desta forma, o funcionamento do gerador, bloqueando a turbina e abrindo o seu disjuntor automático.

Esta função será efectuada quando se detecte sobreaquecimento das chumaceiras da turbina ou no gerador, falta de pressão de óleo nos equipamentos de regulação, embalamento da turbina, disparo do relé térmico do gerador ou em caso de detecção do nível mínimo de água na câmara de carga. Quando acontece alguma anomalia esta será registada no painel de alarmes da consola Magelis

Nesta simulação também será monitorizado a colmatação da grelha na câmara de carga. À saída da câmara de carga está um sensor de perda de carga, quando este detecta que existe impurezas na grelha será accionado um limpa grelhas motorizado. Quando iniciado o processo de limpeza, apenas termina quando o sensor de perda de carga deixa de detectar a anomalia.

5.3. Esquema de Montagem

A fim de se poder simular um pequeno aproveitamento hidroeléctrico, efectuou-se a montagem de acordo com a Figura 54.

Nesta montagem temos um autómato, os respectivos módulos de controlo, que serão responsáveis pelo controlo geral da mini-hídrica, e uma consola táctil onde terá todo o ambiente de trabalho para o comando das funções relativas ao funcionamento de uma mini-hídrica.

Uma tina de água representará a câmara de carga do aproveitamento, construída em inox e acrílico.

Um tubo de admissão de água representa o caudal a montante da mini-hídrica. A variação de entrada de água é feita manualmente. Um tubo de saída de água que representa o caudal a

jusante da mini-hídrica. A variação de saída de água é feita por uma válvula proporcional controlada automaticamente.

Um sensor ultrasónico que permite saber a altura exacta da água e dois sensores de nível para indicar quando o nível de água se aproxima do nível máximo, ou do nível mínimo. A comunicação entre o autómato, e consola e o PC é feita via Ethernet. Para ser possível a comunicação em simultâneo entre os três é usado um HUB.

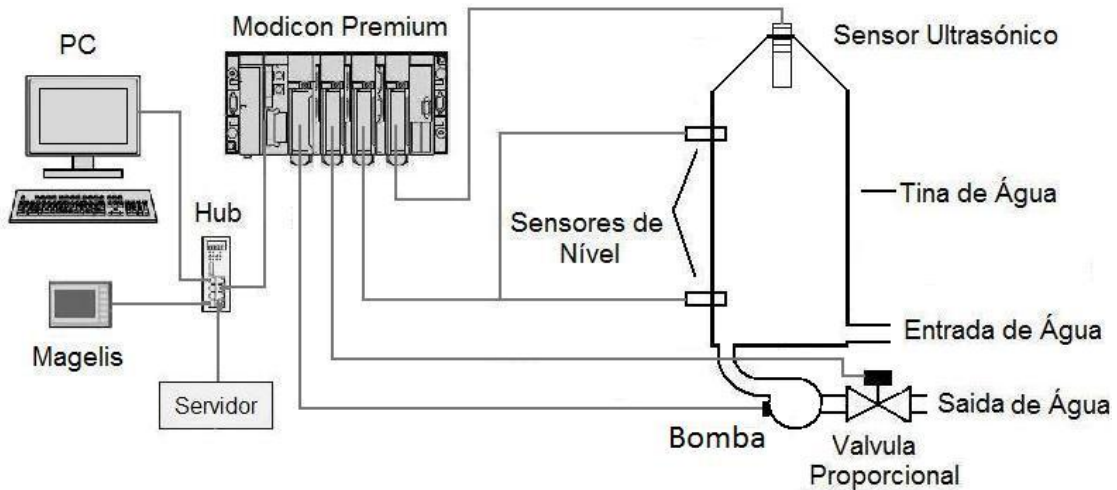


Figura 54 - Esquema de montagem da simulação.

5.3.1. Esquema de Ligações

Nas ligações de alimentação, tanto dos módulos de entrada/saída como dos sensores e actuadores, foram todos ligados à mesma fonte de alimentação para que estejam todos com a mesma diferença de potencial.

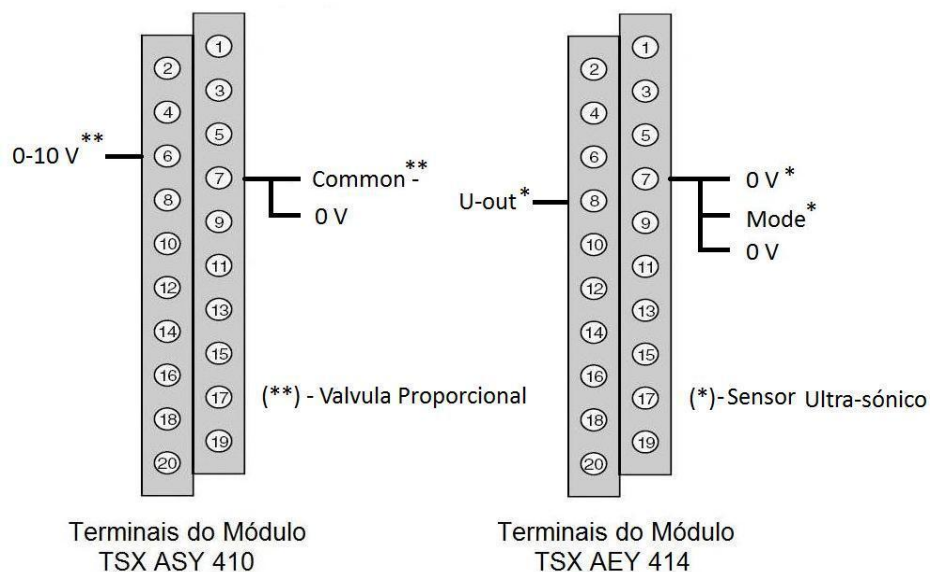


Figura 55 - Esquema unifilar das ligações dos módulos analógicos.

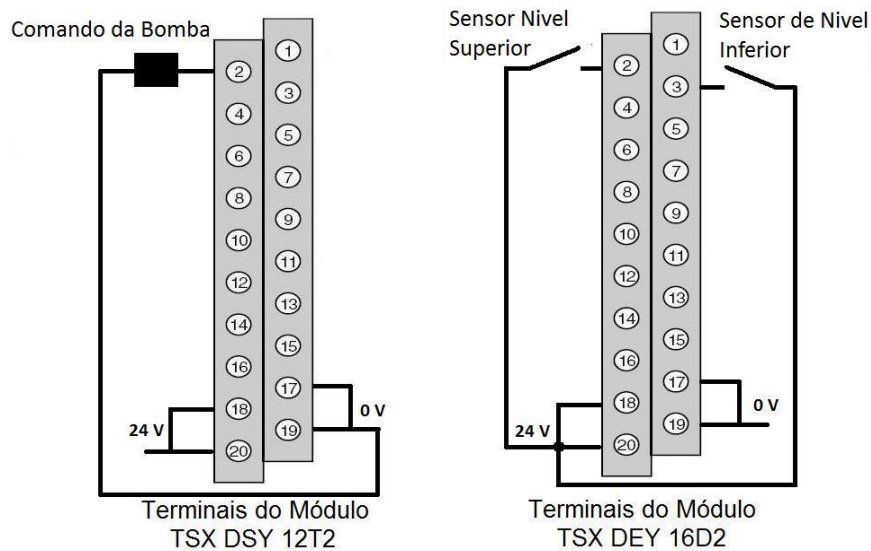


Figura 56 - Esquema unifilar das ligações dos módulos discretos.

5.4. Rede implementada

5.4.1. Descrição

Para pequenos aproveitamentos hidroeléctricos, é previsto que funcionem sem a presença humana na central. Mas para que seja possível visualizar o estado da central, é necessário a ligação do autómato à internet, aí poderá ser monitorizada a partir de uma página Web integrada no autómato.

Na central de simulação temos 3 dispositivos: o autómato, a consola, e um computador. Para que comuniquem entre si, criou-se uma rede interna que foi denominada de Network (1), funcionando com protocolo Ethernet TCP/IP. Cada dispositivo desta rede foi identificado com os respectivos endereços de IP e endereços X-Way (Figura 57). O endereço X-Way serve para indicar o número da rede e da estação que cada dispositivo ocupa.

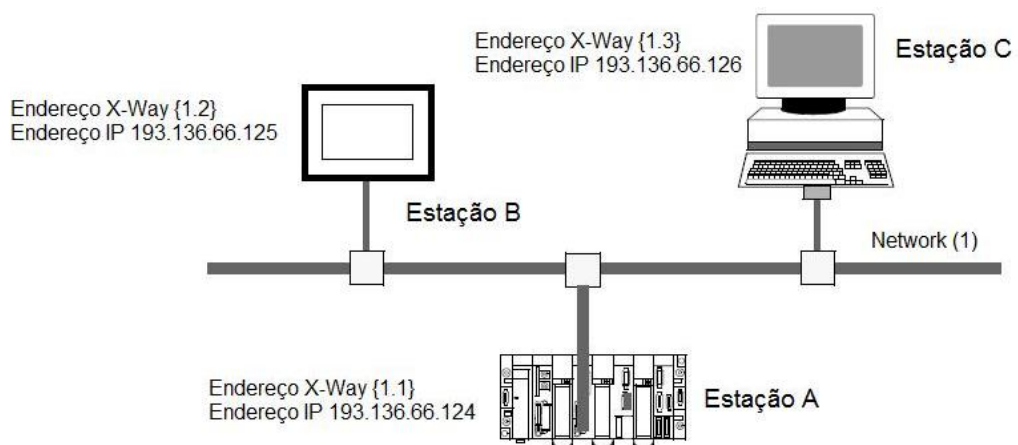


Figura 57 - Endereçamento dos elementos da rede interna Network (1).

Para a estruturação desta rede usou-se uma topologia em estrela usando um HUB. Para o acesso à internet apenas é necessária uma ligação entre o HUB e um router (Figura 58).

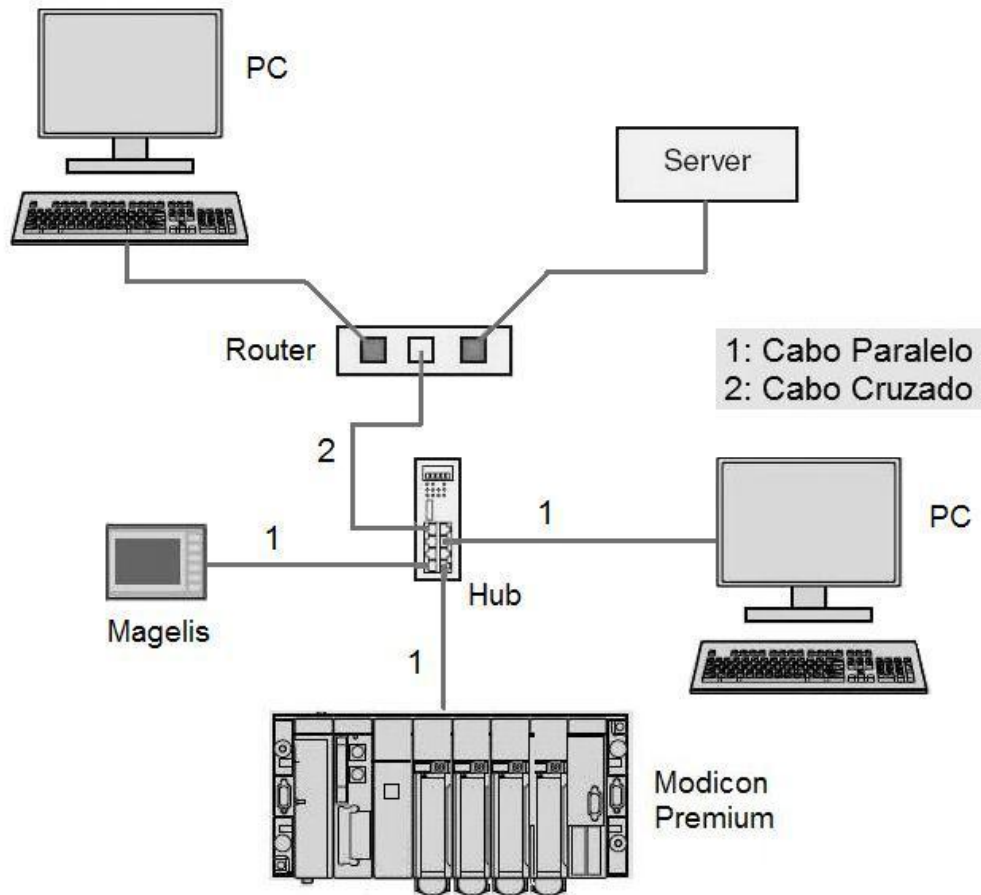


Figura 58 - Rede implementada para a simulação do projecto.

5.4.2. Comunicação com o Autómato

As comunicações com o autómato são feitas através de cabo RS 232 e por Internet. Para se executar estas comunicações são configurados dois drivers.

Para a transferência de aplicações usando uma interface com cabo RS232, configurou-se o driver X-WAY. No caso da ligação da interface por Internet, configurou-se o driver XIP.

5.4.3. Comunicação com a Consola

As comunicações entre consola e o autómato, em funcionamento normal, são feitas através de Ethernet. Para a transferência de aplicações para a consola é usada a Ethernet e cartões de memória.

5.5. Configurações no Autómato

5.5.1 Configuração de Hardware

Na configuração de hardware procedeu-se à configuração dos módulos TSX usados neste projecto.

Na posição 0 e 1 é ocupada pelo processador, pois o modelo usado tem a porta Ethernet incorporada e ocupa duas posições. Na posição 2 e 3 estão os módulos discretos de entrada e saída respectivamente. Na posição 4 e 5 estão os módulos analógicos de entrada e saída respectivamente.

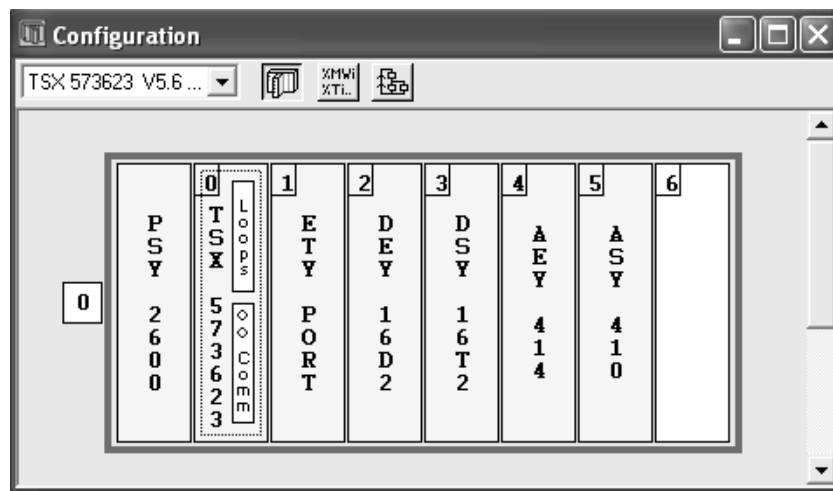


Figura 59 - Configuração do hardware para o trabalho de aplicação.

Na configuração de cada módulo utilizaram-se valores predefinidos à excepção do módulo analógicos de entrada e saída. Para estes módulos teve de se configurar cada entrada e saída de acordo com o tipo de sensor e actuador.

No caso das entradas, temos o sensor ultrasónico no canal 1 e o taquímetro no canal 2. Ambas as gamas de entrada foram alteradas para 0-10 V dadas as características eléctricas do sensor e para facilitar o tratamento de dados pelo autómato.

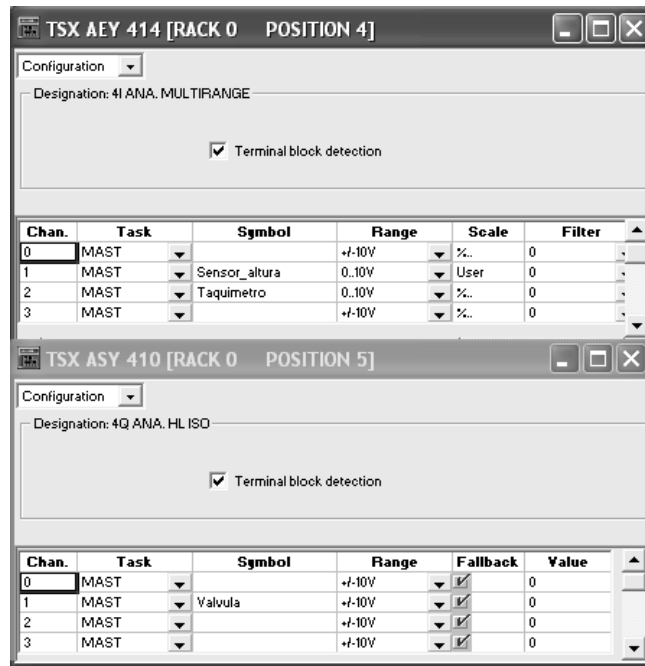


Figura 60 - Configurações nos parâmetros de entradas das cartas analógicas de entrada (em cima), e saída (em baixo).

Para a saída analógica temos a válvula proporcional no canal 1 que vai funcionar numa gama de $-/+10V$ como mostra a figura de cima.

5.5.2. Software Desenvolvido no Autómato

Como anteriormente foi citado, o desenvolvimento de uma aplicação neste software, passa pela criação de secções no editor de programas, onde será desenvolvida a programação para desempenhar as funções pretendidas.

Na Figura 61 podem-se ver as várias secções criadas para o controlo do aproveitamento. A função testada em laboratório foram a de controlo de nível, todas as restantes foram testadas virtualmente apresentando resultados positivos e desejáveis para o controlo pretendido.

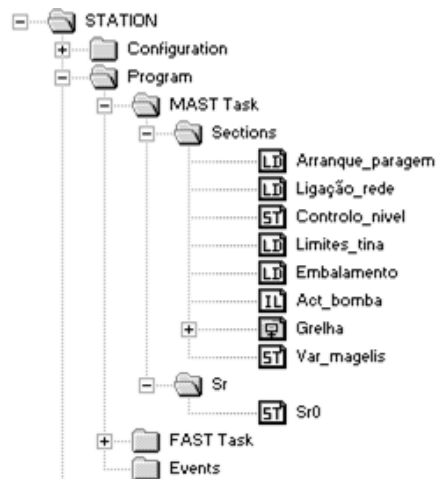


Figura 61- Editor de Programas do software desenvolvido no autómato para a aplicação deste trabalho.

5.5.2.1. Descrição Detalhada do Software

A primeira secção do software desenvolvido é a secção de arranque e paragem da central (Figura 62). Nesta secção estão definido os parâmetros para o arranque e paragem da central, actuando no controlo da turbina. Quando a variável “Arranque” recebe um sinal positivo, activa o bit “Act_hidrica” e informa o Setpoint do PID de arranque da turbina. Estabelecendo uma a rotação a 3000 rpm. O Bit “Act_hidrica” indicará nas outras secções que foi dada ordem de funcionamento à central.

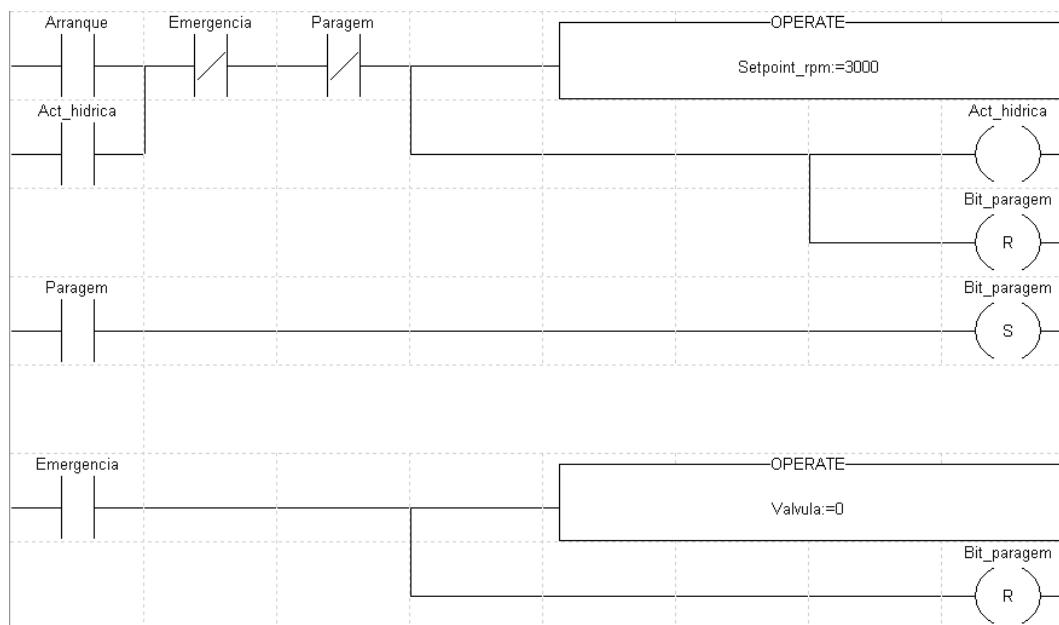


Figura 62 - Secção “Arranque_paragem” vai comandar o arranque e paragem da central. Desenvolvida em Linguagem Ladder.

Após ser dada ordem de arranque à turbina, entra em funcionamento, a subrotina “Sr0” (Figura 63).

Antes de o gerador ser ligado à rede, deverá primeiro atingir a velocidade de sincronismo. Nesta subrotina, está primeira função PID de comando da válvula de saída, controlando a sua abertura de acordo com a rotação.

```

(*Subrotina de Arranque da turbina por meio de uma função PID*)

(*Configuração da função PID*)
PID('Rotação', 'rpm', R_t, V_s, M_a, S_p:43);

(*Recepção pelo PID de valores vindos do taquimetro*)
R_t:=Taquimetro;

(*Definição do valor do setpoint para a função PID*)
S_p:=Setpoint_rpm;

(*Colocação da saída analogica do PID na Valvula*)
IF Act_hidrica OR Bit_paragem THEN

Valvula:=V_s;

END_IF;
(*Instrução que direcciona para o programa principal*)

IF Taquimetro=3000 THEN

RETURN;

END_IF;

```

Figura 63 - Secção “Sr0”, subrotina que controla o arranque da turbina. Desenvolvida em texto estruturado.

Estando a turbina a rodar à velocidade pretendida, e o gerador é sincronizado com a rede. A secção “Ligação_rede” (Figura 64) encarrega-se de comandar a ligação do gerador à rede de distribuição.

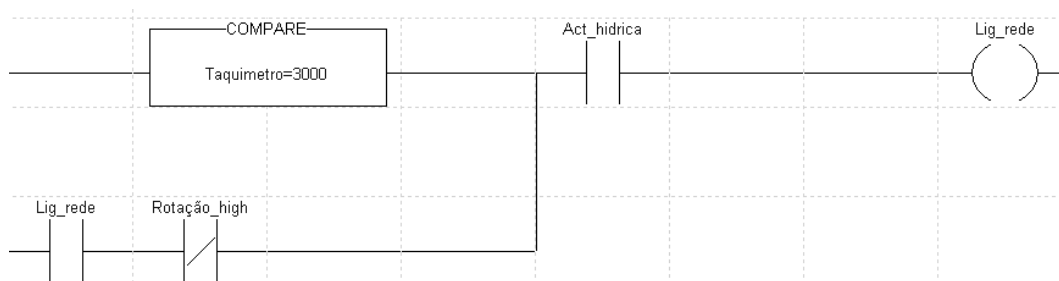


Figura 64 - Secção “Ligação_rede”, comanda a ligação do gerador à rede.

Uma vez ligado à rede, o controlo da válvula de saída passa a ser comandada pela segunda função PID (Figura 65). Com a turbina a rodar a uma velocidade constante, a abertura da válvula de saída depende da altura de água na câmara de carga, tendo como cota de referência o Setpoint introduzido pelo utilizador.

```

(*Instrução que direcciona para uma subrotina de arranque do gerador*)
IF Taquimetro<2999 OR Taquimetro>3001 THEN
SR0;
END_IF;

(*Controlo da altura da queda de água através de uma função PID quando a turbina as 3000 rpm's*)
(*Configuração da função PID*)
PID('altura','mm',P_v,M_v,M_f,Sp:43);

(*Declaração do tempo de amostragem*)
Ts:=10;

(*Recepção de valores pelo PID*)
(*Recepção pelo PID de valores vindos do sensor ultrasonico*)
P_v:=Sensor_altura;

(*Colocação da saída analogica do PID na Valvula*)
IF NOT Nivel_superior AND Nivel_inferior AND Taquimetro=3000 AND Act_hidrica AND NOT Rotação_high THEN
Valvula:=M_v;
END_IF;

(*Definição do valor do setpoint para a função PID*)
Sp:=%MW103;

```

Figura 65 - Secção “*Controlo_nivel*”, controla o nível de água na câmara de carga actuando na válvula de saída.

Nesta altura a central está a turbinar todo o caudal afluente à câmara de carga, garantindo assim uma exploração máxima com o caudal disponível.

Para o controle dos níveis limite da câmara de carga, foi criada uma secção para protecção da mesma (Figura 66).

Se em algum momento o sensor “Nivel_superior” ou o “sensor_altura” forem activados a válvula abrirá ao máximo, e um bit de alarme disparará. Se em algum momento o sensor “Nivel_inferior” ou o “sensor_altura” dispararem a válvula fecha-se, e um bit de alarme disparará.

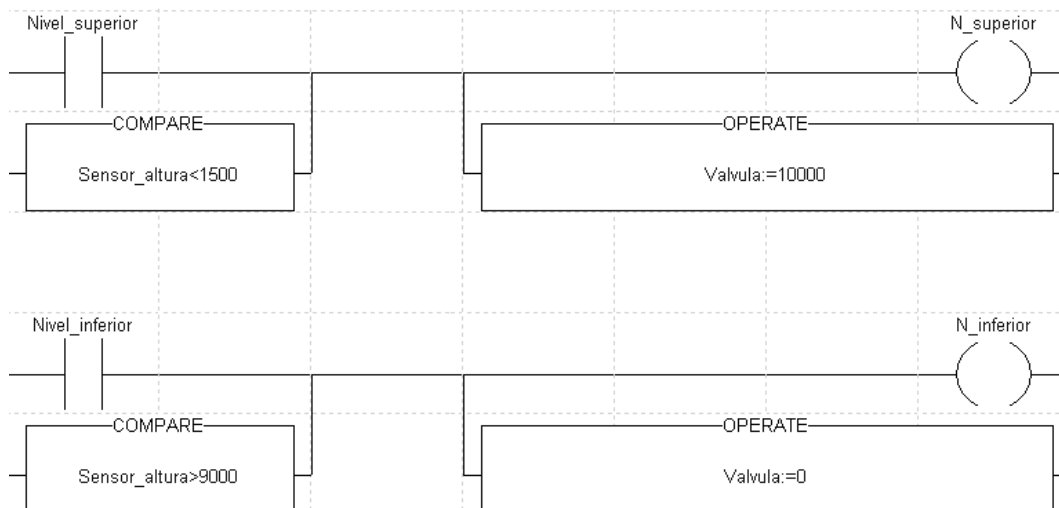


Figura 66 - Secção “*Limites_tina*”, controla os limites de segurança na câmara de carga. Desenvolvida em Linguagem Ladder.

Para a activação da bomba foi desenvolvida a secção “*Act_bomba*”. A bomba apenas é activa se a válvula estiver em posição aberta.

```

(*Controlo do funcionamento da bomba de água*)
(*A bomba está ligada enquanto a valvula estiver aberta*)
LD      [Valvula>0]
ST      Bomba
LD      [Valvula=0]
STN     Bomba

```

Figura 67 - Secção “Act_bomba”, comanda o funcionamento da bomba de água. Desenvolvida em texto estruturado. Desenvolvida em texto estruturado.

Para protecção contra embalamento da turbina, a secção “Embalamento” vigia a rotação da turbina, caso esta ultrapasse a rotação da segurança é disparado um alarme. Apenas é possível a reactivação da central depois de ser verificado o problema e dada ordem de reactivação à central.

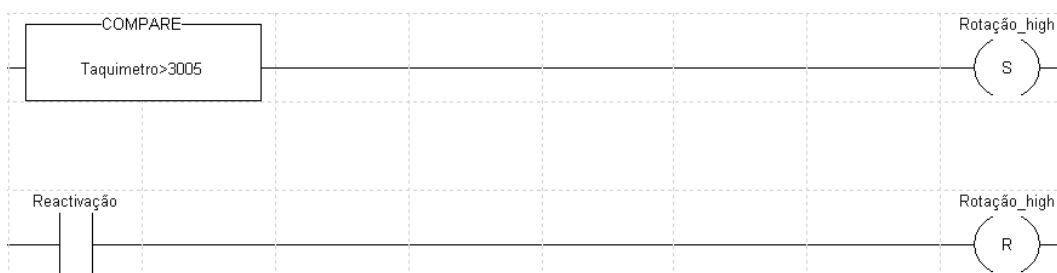


Figura 68 - Secção “Embalamento”, previne a turbina de embalamento.

Para que na consola táctil fosse possível a visualização e introdução de valores em escalas métricas e valores de abertura da válvula em percentagem, foi desenvolvida a secção “Var_Magelis” (Figura 69), para conversão de alguns valores retirados da memória do autómato.

Neste caso os dados a ser convertidos foram: a leitura do sensor de nível para milímetros, a conversão do Setpoint introduzido na consola de uma escala métrica para a escala definida no autómato e a abertura da válvula em percentagem.

```

(*Inversão dos valores vindos do sensor*)
%MW300:=10000-Sensor_altura;

(*Conversão para milímetros da leitura do sensor ultrasonico*)
%MF200:=INT_TO_REAL(%MW300);
%MF205:=INT_TO_REAL(10000);
%MF210:=(%MF200/%MF205)*710.0;
Altura_da_agua:=REAL_TO_INT(%MF210);

(*Valor de entrada no controlador PID do setpoint introduzido na consola*)
(*Setpoint_altura = %MW12*)
%MF220:=INT_TO_REAL(Setpoint_altura);
%MF225:=INT_TO_REAL(710);
%MF230:=(%MF220/%MF225)*10000.0;
Setpoint_altura:=REAL_TO_INT(%MF230);

(*Abertura da Valvula em percentagem*)
Abertura_da_valvula:=Valvula/100;

(*Activação da bomba de água*)
Pump:=Bomba;

(*Indicação da rotação da turbina*)
Rpm:=Taquimetro;

```

Figura 69 - Secção “*Var_Magelis*”, aqui é declarado algumas variáveis que vão ser usadas na comunicação com a consola Magelis.

Na secção “*Grelha*” (Figura 70), está o controlo da grelha de do seu estado de colmatção da câmara de carga. A grelha actuada por meio de um motor, este pode ser activado automaticamente, ou de forma manual.

Cada um dos blocos da linguagem Grafset está programado para executar uma função, ou passar à função seguinte se a sua condição for positiva. Neste caso, no estado inicial no bloco 0, o motor está parado, a condição para o seu funcionamento é a activação do sensor “*Grelha_colmatada*” ou o bit “*Act_manual_grelha*”. Nessa altura a condição é satisfeita e passa para o bloco 1. No bloco 1 o motor é activado.

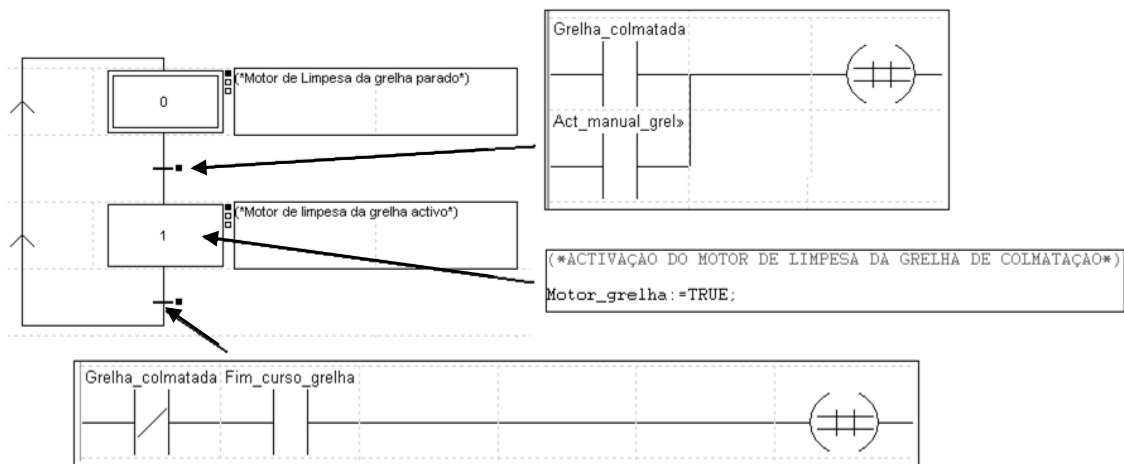


Figura 70 - Secção “Grelha”, comanda o motor de limpeza da grelha de colmatação. Linguagem desenvolvida em Grafset.

O motor só é desligado quando o sensor “Grelha_colmatada” deixar de estar activo e o interruptor de fim de curso esteja activo.

5.5.3 Configuração de Comunicação

A fim de o autómato poder comunicar via Ethernet configurou-se o módulo de comunicação como mostra a Figura 71. Foi introduzido no campo “XWAY address” o endereço Xway do autómato, composto pela rede 1 e estação1. No campo “IP address configuration”, foi introduzido o endereço de IP e parâmetros associados.

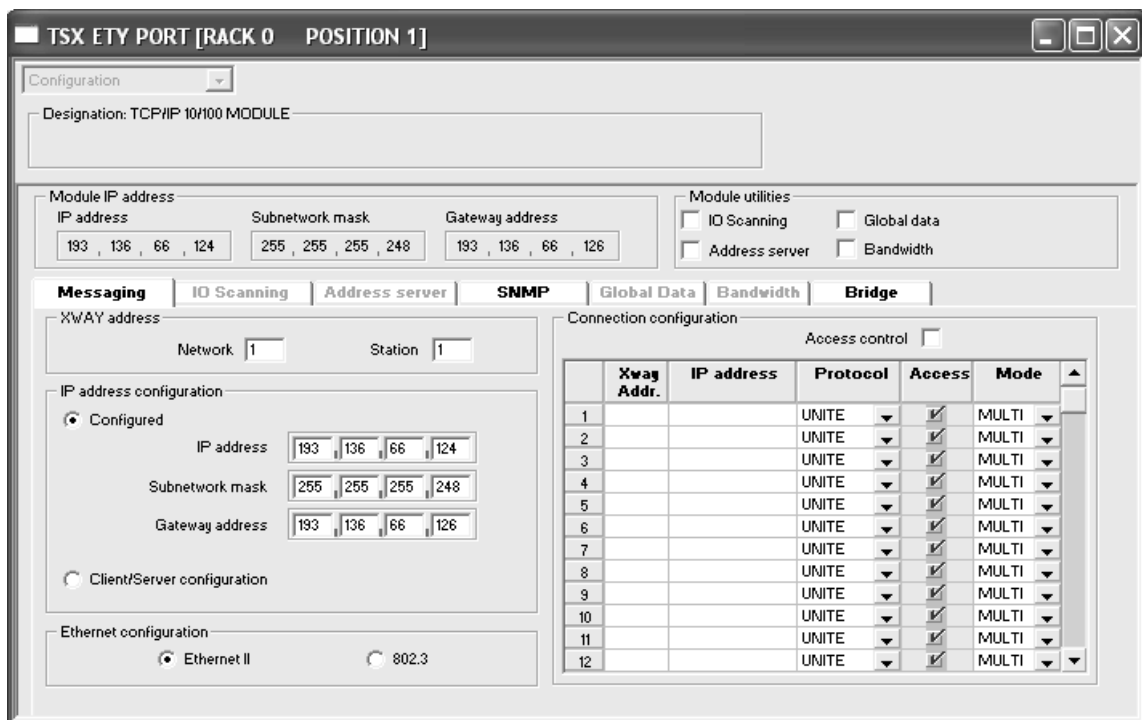


Figura 71 - Configurações no módulo de comunicação Ethernet.

No caso da ligação da interface Autómato-PC ser feita através da Internet, temos que configurar o driver XIP e mantê-lo sempre activo enquanto transferimos dados através do software, tanto do PC para o autómato, como do autómato para o PC.

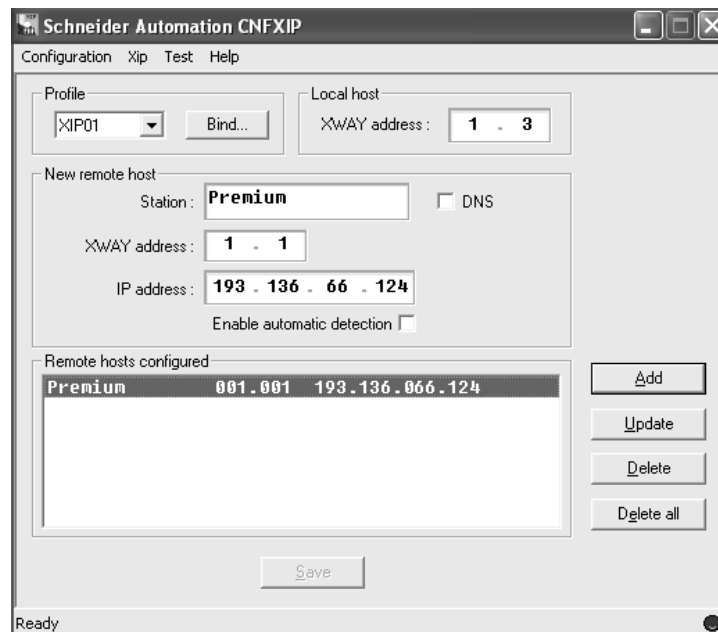


Figura 72 - Configuração do driver XIP, para transferência de dados para o autómato via Internet.

Neste configurador são definidos os endereços de Xway e IP do autómato e também do computador (o endereço do computador é introduzido no campo “Local host”).

5.6. Configurações na Consola

A interface gráfica desenvolvida para o comando e supervisão deste pequeno aproveitamento hidroeléctrico é constituída por 8 painéis que representam as principais funções de comando destes aproveitamentos.

5.6.1. Descrição Detalhada dos Painéis

O principal painel de toda a interface gráfica desenvolvida está representado na Figura 73. É o primeiro painel a aparecer, e funciona como ambiente de trabalho de todo o aproveitamento.

Uma característica que é comum a todos os painéis, é a visualização de data e hora assinalados por (1) e (2) no painel Principal. Também no painel Principal temos informações do estado da câmara de carga, de uma forma gráfica (3) e de forma escrita (4). O volume em (3) acompanha o valor em (4), ou seja, sobe e desce de acordo com o nível de água.

Outra animação gráfica é a representada em (7), quando a turbina está em andamento, a turbina em (7) também gira. Na parte inferior do painel estão botões que direccionam para os restantes painéis de comando e supervisão da interface gráfica.

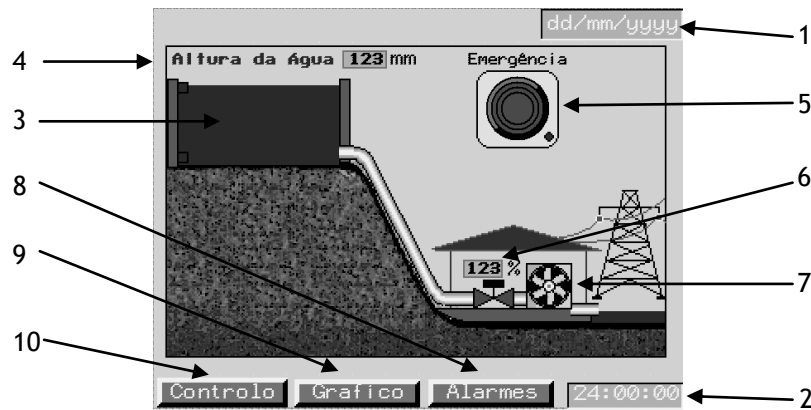


Figura 73 - Painel Principal. Visualização do ambiente geral do aproveitamento.

- | | |
|---|--|
| 1 - Data, presente em todos os painéis. | 6 - Percentagem de abertura da válvula de saída. |
| 2 - Hora, presente em todos os painéis. | 7 - Animação gráfica da turbina |
| 3 - Informação gráfica do nível da câmara de carga. | 8 - Direcção para o painel alarmes. |
| 4 - Altura de água em milímetros. | 9 - Direcção para o painel Gráfico. |
| 5 - Botão de emergência | 10 - Direcção para o painel Controlo. |

O painel de comando não tem nenhuma animação, apenas serve como menu dos comandos do aproveitamento. Aqui é possível seleccionar o menu de arranque da central (2), os parâmetros do controlador de nível na câmara de carga (3), a limpeza manual da grelha de colmatção (4), ou os parâmetros do controlador do arranque da turbina. Caso se queira voltar ao painel Principal, basta tocar em Início (1).

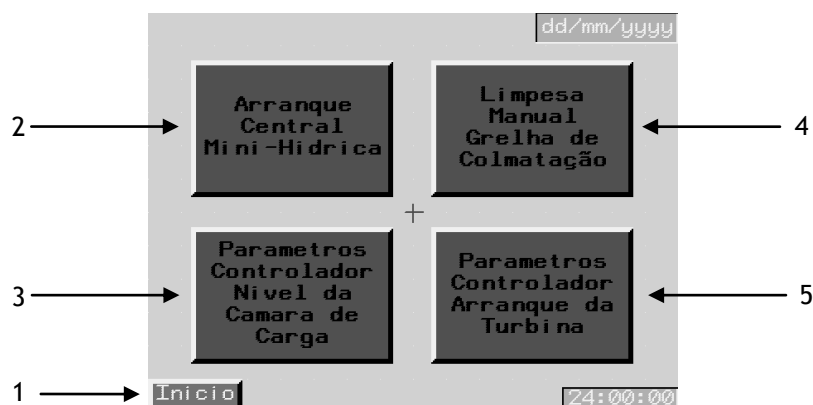


Figura 74 - Painel Controlo. Neste painel encontra-se os comandos principais.

- | | |
|---|---|
| 1 - Direcçiona para o painel Principal. | 4 - Actua a limpeza manual da grelha de colmatação. |
| 2 - Direcçiona para o Painel de Arranque da Central. | 5 - Direcçiona para o painel dos parâmetros do PID arranque da turbina. |
| 3 - Direcçiona para o painel dos parâmetros do PID Nível de água. | |

Quando no painel principal se toca em Gráfico na parte inferior do painel, ele é direccionado para o painel representado na Figura 75. Neste painel é possível visualizar em tempo real os movimentos do nível de água na câmara de carga e do Setpoint introduzido.

Em (4) onde é indicado o Setpoint pretendido, não só é possível ver o valor definido do Setpoint como também dá para introduzir um valor diferente. Basta tocar em cima do rectângulo onde indica o valor e aparecerá um teclado onde se digita um novo Setpoint.

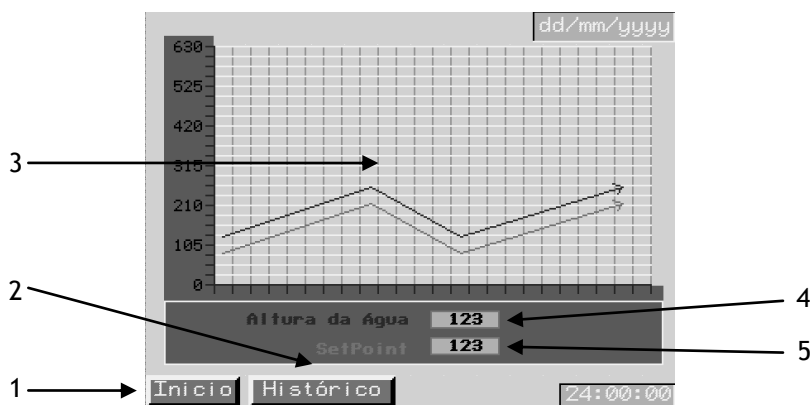


Figura 75 - Painel de Gráfico. Painel de visualização em tempo real da altura de água na câmara de carga e do Setpoint pretendido.

- | | |
|--|--|
| 1 - Direcçiona para o painel Principal. | 4 - Indicação do nível de água actual. |
| 2 - Direcçiona para o painel Histórico. | 5 - Indicação do Setpoint pretendido na câmara de carga. |
| 3 - Gráfico de visualização do andamento do nível de água e do Setpoint em tempo real. | |

Quando, no painel de Gráfico (Figura 75) se toca em (2) este é direccionado para o painel de Histórico representado na Figura 76. A função do painel Histórico assemelha-se ao painel Gráfico. Este indica as variações do nível de água na câmara de carga, mas numa gama de tempo muito superior, sendo possível visualizar dados de até alguns meses.

Quando se pretende visualizar dados referentes a um dia e hora especifica, toca-se em (1), e aparece um calendário onde se selecciona a data pretendida, visualizando depois em (2) os valores desse dia. O painel também tem disponível um comando de visualização (3) que permite avançar ou retroceder a visualização.

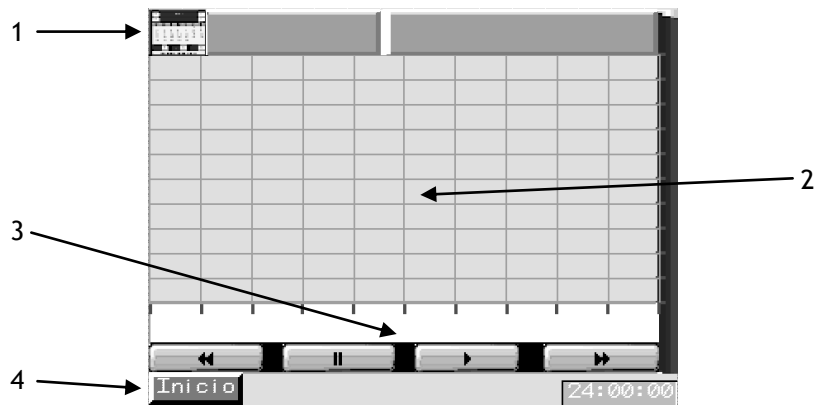


Figura 76 - Painel com gráfico histórico da evolução do nível de água na câmara de carga.

- 1 - Calendário de dados.
- 2 - Visualização de dados na memória.
- 3 - Comando de visualização de dados.
- 4 - Direcção para o painel Principal.

No painel Alarmes (Figura 77), são indicadas todas as acções executadas na central. Na lista são indicados os alarmes que disparam, as acções de activação ou desactivação da central, e limpeza da grelha.

Para além de indicar os alarmes também os diferencia por estados e hora que acontecem, vermelhos quando activos, amarelos quando vistos, e verdes quando resolvidos.

Na Figura 77 está representado o painel de Arranque da Central. Neste painel é possível arrancar ou parar o aproveitamento. Aqui é possível, antes de dar ordem de arranque à central (1), definir o Setpoint da rotação da turbina (7) e do nível de água na câmara de carga (6).



Figura 77 - Painel Alarmes. Painel de visualização dos erros e acções ocorridas na central.

- 1 - Direcção para o painel Principal.
- 2 - Barra de selecção dos alarmes.
- 3 - Painel de indicação dos alarmes.
- 4 - Botões para apagar os registos dos alarmes.

No caso de algum alarme disparar, o gerador é desligado da rede, e uma luz amarela (5) fica a piscar. O restabelecimento da ligação é feito com o toque no botão Reactivação (3), se o alarme estiver resolvido.

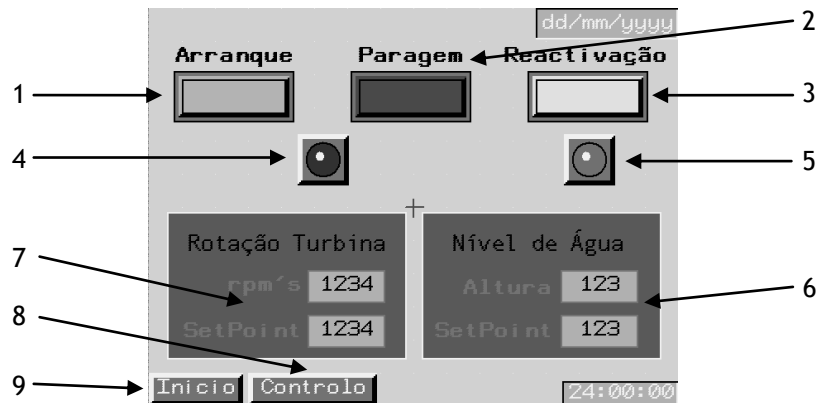


Figura 78 - Painel de Arranque da Central.

- | | |
|---|--|
| 1 - Botão de arranque da central | 6 - Informações de nível da câmara de carga. |
| 2 - Botão de paragem da central | 7 - Informações da velocidade de rotação da turbina. |
| 3 - Botão de reactivação da central | 8 - Direcção para o painel Controlo. |
| 4 - Luz de indicação da central activa. | 9 - Direcção para o painel Principal. |
| 5 - Luz de indicação de algum alarme. | |

Para a definição de todos os parâmetros do controlador PID do nível de água na câmara de carga foi desenvolvido o painel abaixo.



Figura 79 - Painel dos parâmetros do PID Nível de água, referente ao controlo de nível da água na câmara de carga.

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 - Definição automática dos parâmetros do controlador. | 3 - Parâmetros do controlador. |
| 2 - Indicador gráfico dos níveis da câmara de carga. | 4 - Direcção para o painel Controlo. |
| | 5 - Direcção para o painel Principal. |

Para a definição de todos os parâmetros do controlador PID da rotação da turbina foi desenvolvido o painel abaixo.



Figura 80 - Painel dos parâmetros do PID Arranque turbina, referente ao controlo da rotação da turbina no arranque.

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 - Definição automática dos parâmetros do controlador. | 3 - Parâmetros do controlador. |
| 2 - Indicador gráfico da rotação da turbina. | 4 - Direcção para o painel Controlo. |
| | 5 - Direcção para o painel Principal. |

5.6.2. Configurações de Comunicação

Tal como foi feito para o autómato, também as configurações de comunicações da consola têm de ser definidas. Como a consola disponibiliza vários protocolos de comunicação e por consequência necessita de diferentes drivers, em primeiro lugar escolhe o tipo de driver que se pretende utilizar.

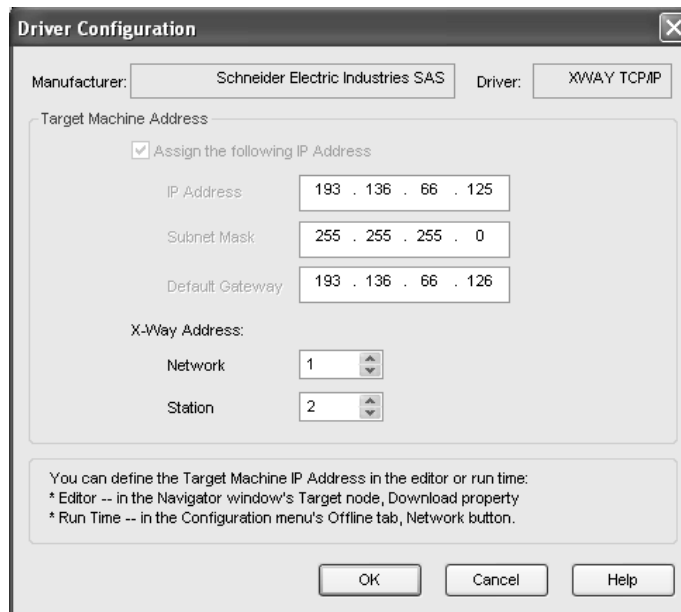


Figura 81 - Configuração do driver de identificação da consola Magelis.

Neste caso é usado o driver “XWAY TCP/IP” para comunicações Ethernet. Na janela de configuração do driver são introduzidos os endereços de IP e de X-Way da consola, para que seja possível a sua identificação na rede implementada. Após serem definidos todos os parâmetros e endereços da consola, é necessário indicar o endereço do equipamento com quem, a consola ira comunicar. Na Figura 82 mostra todos os parâmetros que têm de ser definidos. Aqui foram introduzidos os endereços apenas do autómato, pois é o único equipamento com quem a consola irá comunicar por Ethernet.

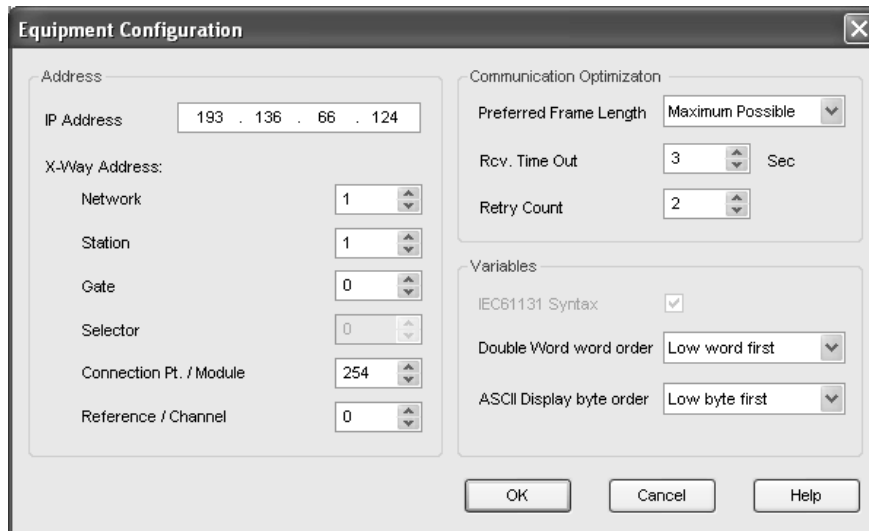


Figura 82 - Configuração do endereço do equipamento com o qual a consola irá comunicar, neste caso o autómato.

5.7. Visualização do Estado do Autómato a Partir da Web

Possuindo uma porta de comunicação Ethernet, este autómato pode ser acedido através de redes Ethernet e Internet. O módulo de Ethernet incorporado no processador do autómato dispõe de uma página Web que pode ser acedida de qualquer sítio desde que se tenha acesso à Internet.

A ligação ao autómato através da página Web, apenas permite a visualização do estado do autómato, visualizar o estado das variáveis, criar tabelas de animação, realizar diagnósticos de uma aplicação e alteração do valor de algumas variáveis de memória.

Esta página pode ser acedida partir qualquer computador pessoal, não necessitando de nenhum programa específico, apenas uma ligação à internet e da palavra-chave para que seja possível a sua visualização.

5.7.1. Pagina Web

Para se ter acesso à página principal, basta introduzir no navegador de Internet o endereço de IP configurado no módulo de Ethernet do autómato. Neste caso, como mostra a Figura 83, o endereço de IP é **193.136.66.124**.

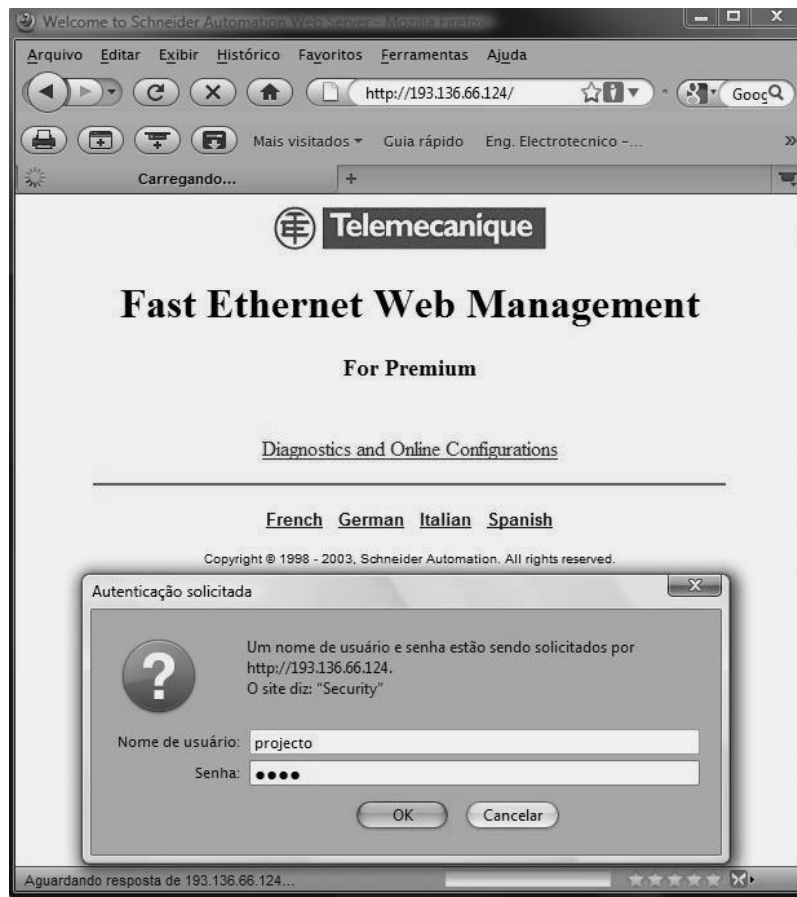


Figura 83 - Pagina principal.

A página inicial apenas permite seleccionar o idioma e aceder ao diagnóstico online do autómato.

5.7.2. Página de índice

Para aceder a esta página basta seleccionar a hiperligação “*Diagnostics and Online Configuration*” na página inicial. Depois aparece uma janela que solicita o nome do utilizador e a palavra-chave. Se o nome de utilizador e a palavra-chave forem aceites temos acesso à página de índice do servidor.

Esta página mostra os vários serviços suportados pelo acoplador ETHERNET e as hiperligações de acesso para aceder ao serviço desejado.

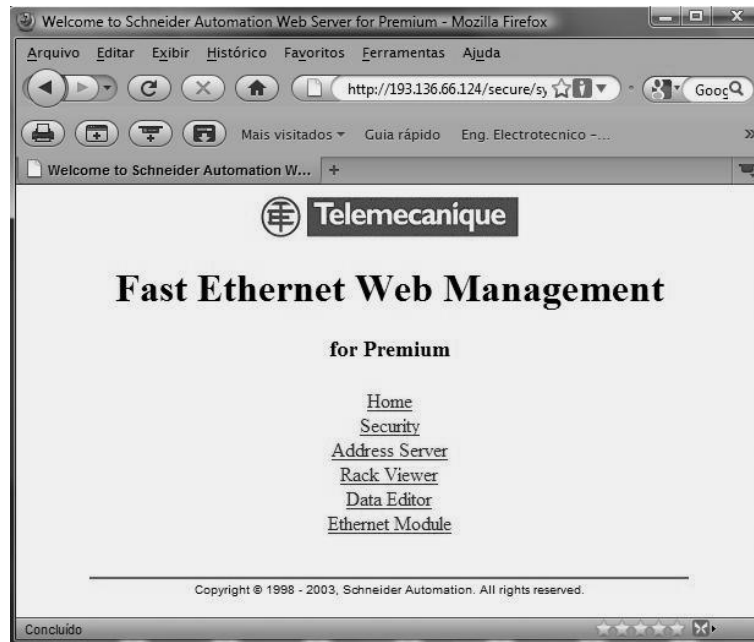


Figura 84 - Pagina de Índice.

5.7.3. Página de Segurança

Na página de segurança são definidos ou modificados o nome de utilizador e palavra-chave de acesso à página de índice, e alterada a palavra-chave que permite escrever variáveis no editor de dados.

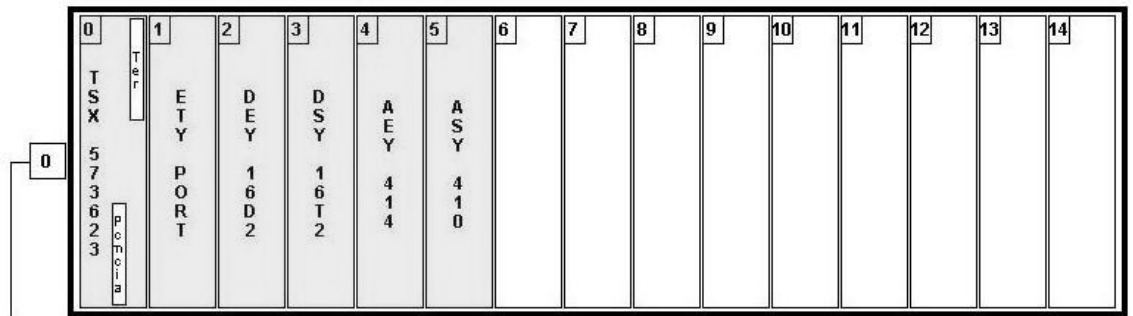
5.7.4. Página de Endereço do Servidor http

Esta página permite visualizar ou modificar a tabela de correspondência entre as direcções MAC e o Nome e as direcções IP do acoplador. Esta página não permite agregar novas entradas nem modificar o nome do equipamento remoto. No caso desta simulação, o servidor de direcção não é utilizado, logo não se encontra configurado.

5.7.5. Página de Visualização da Rack

Esta página permite efectuar um diagnóstico dos módulos da configuração local, responsável do acoplador Ethernet.

Seleccionando um qualquer módulo, obtém-se um conjunto de informações de diagnóstico relativas ao módulo seleccionado. Informações como indicadores dos módulos, tipo e versão dos módulos, posição ocupada na rack e a função específica do módulo podem ser vistas nesta página.



[Home](#) | [Statistics](#) | [Address Server](#) | [Data Editor](#)
 Copyright © 1998 - 2003, Schneider Automation. All rights reserved.

Figura 85 - Pagina de visualização da Rack.

5.7.6. Página de Editor de Dados

Esta página permite criar tabelas de animação, que contêm as listas das variáveis do autômato, que se podem visualizar e modificar. O acesso às variáveis só se pode realizar mediante endereços de memória. Esta função é útil no caso do diagnóstico de uma aplicação. Para poder controlar as variáveis tem que se ter acesso a uma palavra-chave.

VARIÁVEL ▾ Save... Delete... Lookup... Insert Rows... Cut Rows... Paste Rows Password... PLC program is STATION:0.93.						
	Variable Name	Address	Data Type	Value	Format	Status
1		%M10	BOOL	1	boolean	OK
2		%MW3	INT	6045	decimal	OK
3		%MW4	INT	10000	decimal	OK
4		%MW10	INT	3955	decimal	OK
5		%MW11	INT	0	decimal	OK
6		%MW12	INT	0	decimal	OK
7		%MW20	INT	0	decimal	OK
8		%MW21	INT	10000	decimal	OK
9		%MW22	INT	100	decimal	OK
10		%MW23	INT	0	decimal	OK
11		%MW24	INT	0	decimal	OK
12		%MW25	INT	10	decimal	OK
13		%MW26	INT	-32768	decimal	OK
14		%MW27	INT	17457	decimal	OK
15		%MW28	INT	0	decimal	OK

Figura 86 - Pagina de Editor de dados.

5.7.7. Página de Diagnóstico

Esta página contém uma lista de hiperligações para aceder as diferentes páginas de diagnóstico do acoplador ETHERNET (Figura 87).

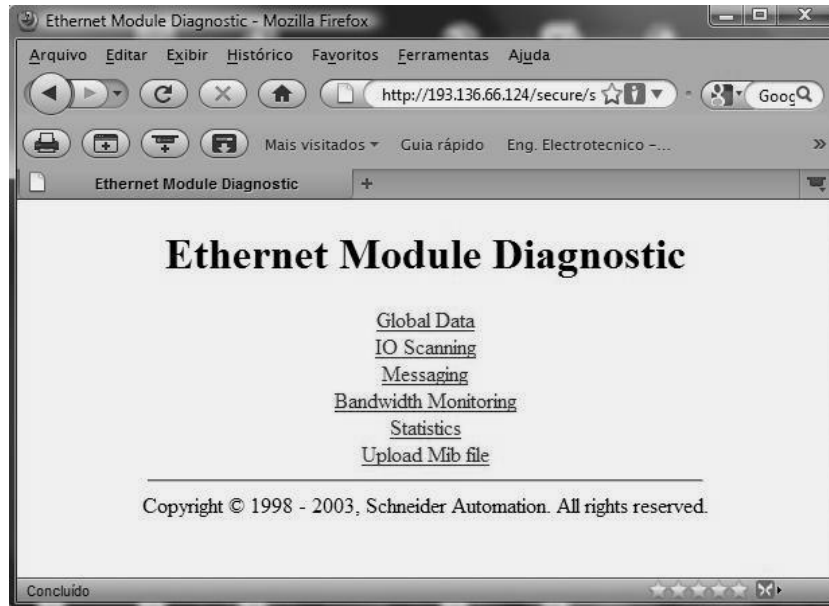


Figura 87 - Pagina de diagnóstico Ethernet.

5.7.7.1. “Global Data”

Nesta página encontramos a informação de diagnóstico geral sobre a função Global Data, mostra também uma tabela que reagrupa todas as variáveis utilizadas num mesmo grupo de distribuição.

No caso desta simulação a função Global Data não é utilizada, logo não se encontra configurada.

5.7.7.2. “I/O Scanning”

Nesta página encontramos a informação geral sobre a função I/O scanning, e indica também o resumo do estado de todos os módulos.

No caso desta simulação a função I/O scanning não é utilizada, logo não se encontra configurada.

5.7.7.3. “Messaging”

Esta página fornece informação actual sobre a conexão TCP aberta no porto 502.

Na parte superior da página encontram-se o número de mensagens enviadas e recebidas no porto.

5.7.7.4. "Bandwidth Monitoring"

Esta página visualiza a repartição da carga do acoplador TSX ETY PORT entre os serviços Global Data, I/O scanning, Mensagens e outros serviços.

Nesta simulação o controlo da banda de transmissão não é utilizado, logo não se encontra configurado.

5.7.7.5. "Statistics"

Esta página apresenta as estatísticas da rede ETHERNET. Permite realizar o diagnóstico de uma rede danificada.

Vista da página de estatísticas do módulo TSX ETY PORT:

ETHERNET MODULE STATISTICS					
Status	10 Mb/s	Host Name	193.136.66.124		
Reference	TSX ETY PORT	MAC Address	00 80 f4 01 4f 9b		
Rack	0	IP Address	193.136.66.124		
Slot	1	Subnet Mask	255.255.255.248		
Firmware Version	3.0	Gateway Address	193.136.66.126		

Transmit Statistics		Receive Statistics		Functioning Errors	
Transmits	9057	Receives	12512	Missed Packets	0
Transmit Retries	0	Framing Errors	0	Collision Errors	2
Lost Carrier	0	Overflow Errors	0	Transmit Timeouts	0
Late Collision	0	CRC Errors	0	Memory Errors	0
Transmit Buffer Errors	0	Receive Buffer Errors	0	PCNet Restarts	0
Silo Underflow	0				

[Zero Counters](#)

[Home](#) | [Ethernet Module](#)

Copyright © 1998 - 2003, Schneider Automation. All rights reserved.

Figura 88 - Página de estatísticas do módulo de Ethernet.

5.8. Desenvolvimento e Montagem da Simulação

5.8.1. Desenvolvimento

5.8.1.1. Construção da Tina

Para se poder proceder à simulação em laboratório do controlo de nível foi construída uma tina que irá simular a câmara de carga. A primeira preocupação na construção da tina foi a especificação das suas dimensões.

Nessa especificação foi tomado em conta a velocidade de enchimento e esvaziamento, pois era fundamental para se obter bons resultados.

A velocidade de enchimento depende do caudal de entrada. Este é debitado por uma ligação à instalação de água do laboratório nas instalações na Universidade, com controlo manual por uma torneira.

A velocidade de esvaziamento depende do caudal de saída. Este é controlado pela bomba instalada à saída da tina.

Tomando em conta estes parâmetros e um pouco de “bom gosto”, estabeleceu-se que as medidas da tina seriam 270x270x600 mm. Com um caudal máximo de 45 l/min de débito da bomba de água, a velocidade de esvaziamento estabelece-se em 1 cm/s aproximadamente, o que proporciona à vista desarmada, boa visualização das oscilações provocadas pelo controlador PID.

Toda a construção da tina é feita em aço inoxidável AISI-301, apenas nas laterais foi aplicado acrílico transparente para visualização do interior. No processo de fabrico, todas as soldaduras foram feitas a TIG. Os acrílicos foram colados com silicone cola e veda, garantindo a estanquicidade e sua robustez.



Figura 89 - Vista geral da tina de água construída para a simulação.

5.8.2.2. Suporte e Posição dos Sensores

Incorporado na tina estão aplicados 3 sensores que vão dar as informações fundamentais ao autómato para o controlo de nível. O posicionamento destes sensores é muito importante para que todo o processo de controlo funcione correctamente e sem problemas.

O sensor ultra-sónico, que lê a altura de água, foi colocado centrado com o fundo da tina. Não poderia ser colocado junto a uma lateral pois devido ao espectro de leitura destes sensores este iria detectar a parede da tina e influenciaria nas medições. Assim construí um suporte que o centraria na tina ligeiramente acima da cota máxima da mesma. Na Figura 90 mostra o suporte construído para o sensor ultra-sónico.

Também de referir que este suporte é amovível, encaixando no topo da tina. Se em alguma situação for necessário introduzir algum objecto dentro da tina, ou até mesmo para a limpeza da mesma, é possível retirar o suporte para facilitar o acesso.



Figura 90 - Suporte do sensor Ultra-sónico.

Outros dois sensores foram colocados na tina, um na parte superior da tina e outro na parte inferior. Estes destinam-se apenas a controlar os níveis de limite da tina quando a água se aproxima da cota máxima ou da cota mínima de segurança.

Para garantir que a tina nunca encha completamente foi colocado um sensor de nível a 40 mm do cimo do tanque, e outro a 30 mm do fundo do tanque. Caso algum destes sensores dispare, o autómato dará ordem de abertura máxima à válvula se disparar o sensor superior, ou fecho máximo se disparar do sensor inferior.

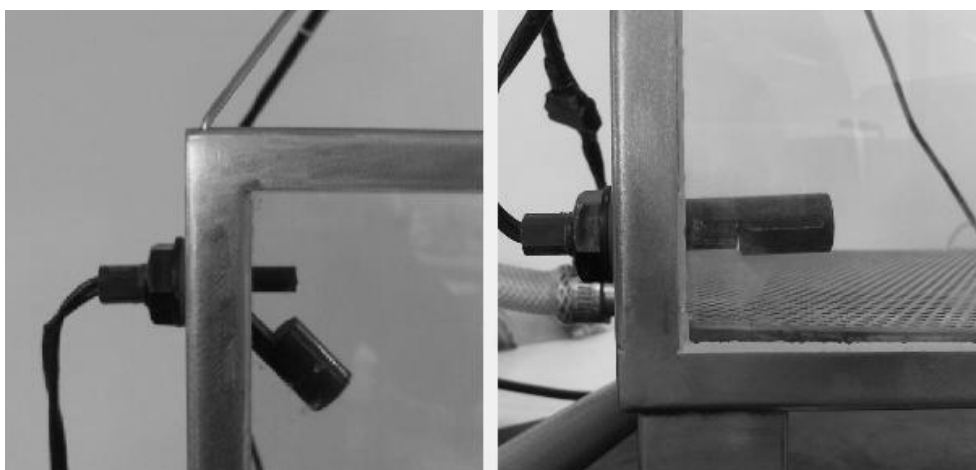


Figura 91 - Sensor de nível máximo do lado esquerdo, sensor de nível mínimo do lado direito.

5.8.2.3. Atenuador de Turbulência

Após os primeiros teste da tina, detectou-se que a alta pressão de entrada da água, causava demasiada turbulência na superfície da água. Como o sensor de leitura de nível funciona com ultra-sons, a leitura do sinal iria ter um erro elevado.

A primeira solução utilizar foi a colocação de um tubo redondo de maneira que o sensor entrasse no seu interior, e este mergulhado dentro de água. Na Figura 92 está representado o esquema descrito.

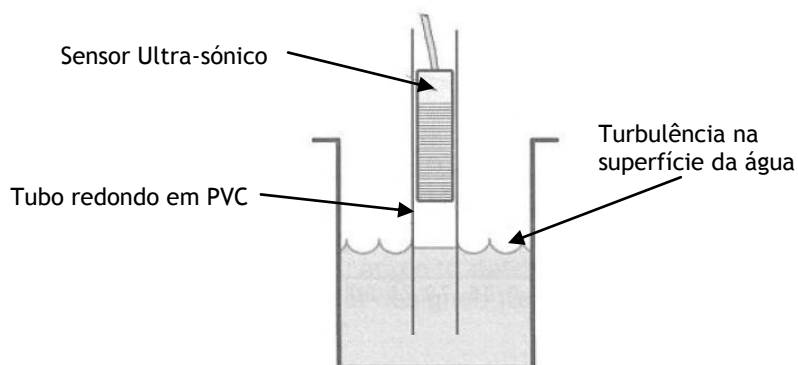


Figura 92- Sensor ultra-sônico introduzido num tubo a fim de eliminar erros de medida devido à turbulência na superfície da água.

Utilizando esta solução o problema está resolvido e com mínima turbulência na leitura do nível de água. Apenas se punha a questão estética, pois um tubo em PVC no centro da tina não era agradável de se ver.

Assim partiu-se para outra solução, a colocação de uma grelha perfurada junto ao fundo da tina. Esta grelha e com a ajuda de um difusor no fundo, a água de entrada é distribuída uniformemente por toda a área da base. Na Figura 93 e Figura 94 e mostra o resultado final. Na Figura 95 pode-se ver a entrada e saída de água da tina.

Como o caudal de entrada é distribuído por vários orifícios, a uma força de impulsão é menor, provocando uma turbulência quase inexistente na superfície da água.

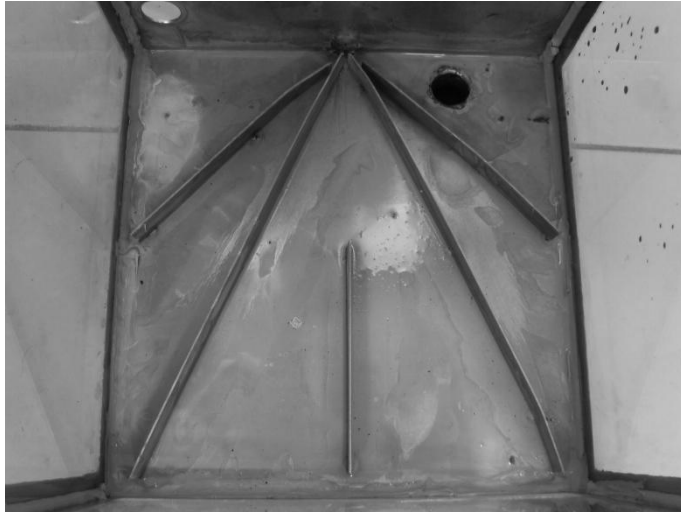


Figura 93 - Difusor no fundo da tina.

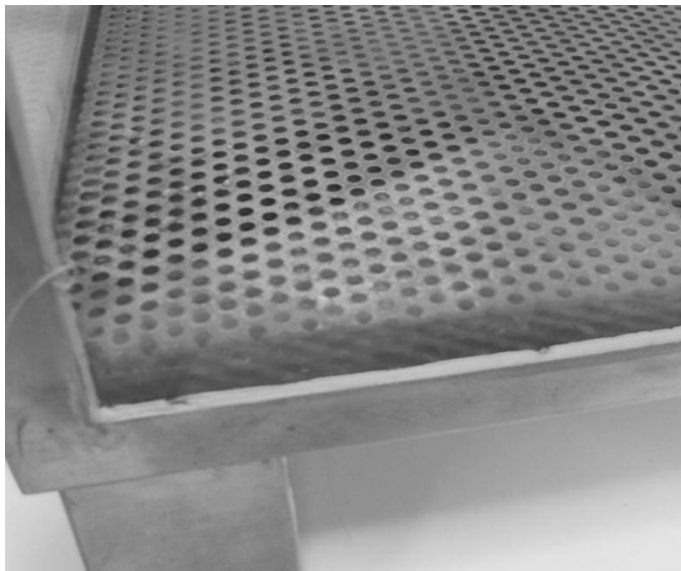


Figura 94 - Pormenor da base da tina, mostrando a grelha perfurada.

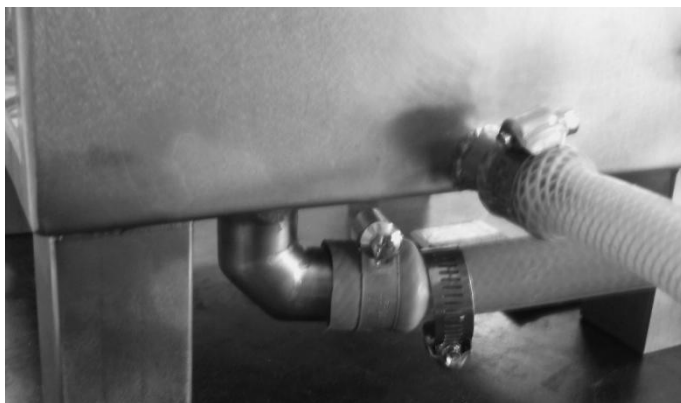


Figura 95 - Pormenor da entrada e saída de água. Mangueira mais a cima é a entrada de água, a mangueira mais abaixo é a saída.

5.9. Dados Obtidos da Simulação do Controlo de Nível

O controlador projectado nesta dissertação foi um controlador industrial do tipo proporcional, proporcional integral e proporcional integral e derivativo. Sendo que no final foi utilizado o controlador mais simples que cumpriu as condições descritas na subsecção 2.6.7.4. (pagina 45).

Para a recolha de dados, foram variados os parâmetros do controlador do autómato a fim de se observar as diferentes respostas a uma diferença no ponto de referência da altura da água.

Para ilustrar o comportamento do sistema quando se altera o valor de referência para a altura da água, é analisado a evolução temporal do nível na câmara de carga. Tendo o nível de água estabilizado na tina de água dá-se uma ordem para alterar o nível de referência (Setpoint).

As Figura 96 e Figura 97 mostram a resposta do sistema para o controlador P por variação do ganho K_p . Pode observar-se que para valores muito altos de K_p o sistema tem uma óptima resposta mas falha na estabilidade, não se mantendo estável no nível pretendido. Para valores K_p baixos o sistema é muito lento não apresentando vantagens relevantes.

Através do método de bissecção, variando os valores de K_p achou-se o valor que melhor se adapta os sistema a controlar. Na Figura 96 observa-se, que para um K_p a 40% da escala do controlador do autómato, este apresenta uma resposta rápida, e uma estabilidade aceitável para o processo.

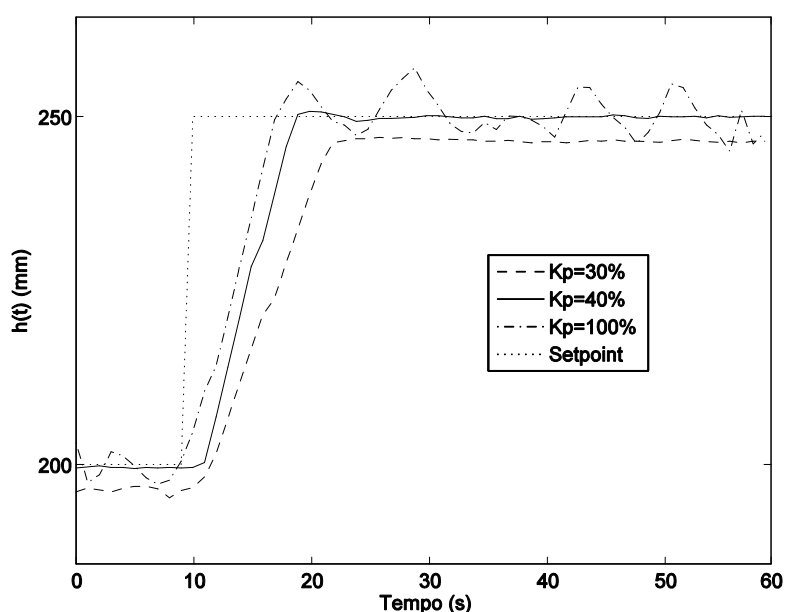


Figura 96 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água, para valores de K_p a 30%, 40% e 100% da escala do controlador.

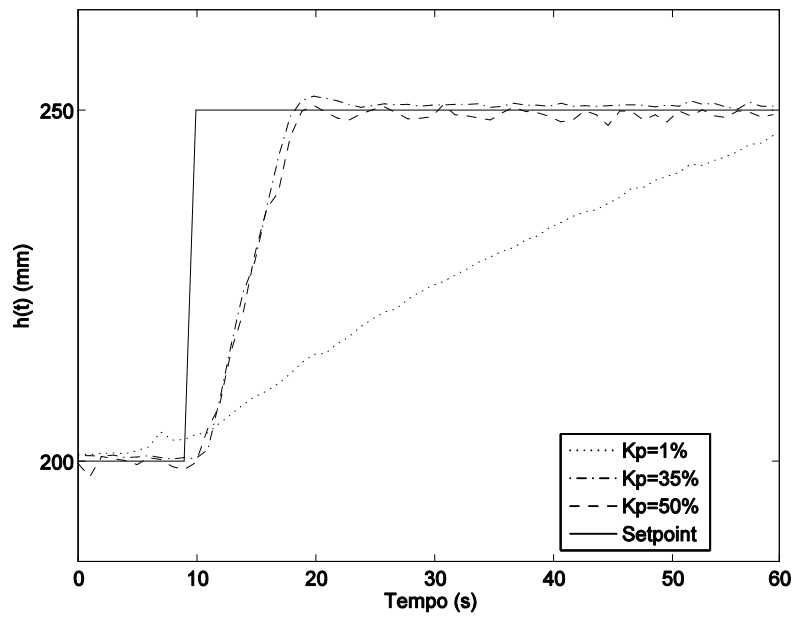


Figura 97 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água, para valores de K_p a 1%, 35% e 50% da escala do controlador.

Também foram retirados valores para um controlador P+PD. No funcionamento do controlador PD, o cálculo derivativo pode ser efectuado, tanto na leitura do sensor, como no erro do controlador. Efectuando simulações com ambos os sistemas os resultados obtidos são os representados na Figura 98 e Figura 99.

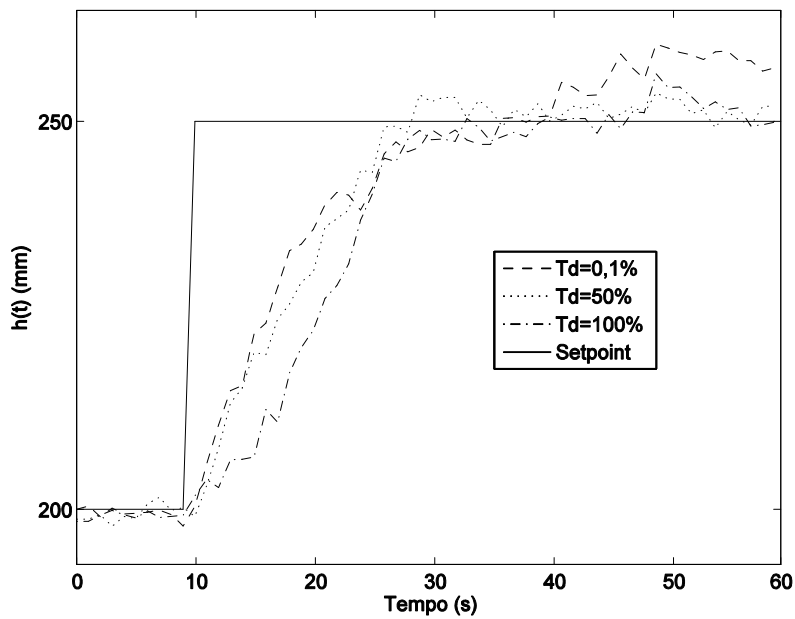


Figura 98 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água num Controlador Proporcional Derivativo (PD) no erro, valores de T_d a 0,1%, 50% e 100% da escala do controlador.

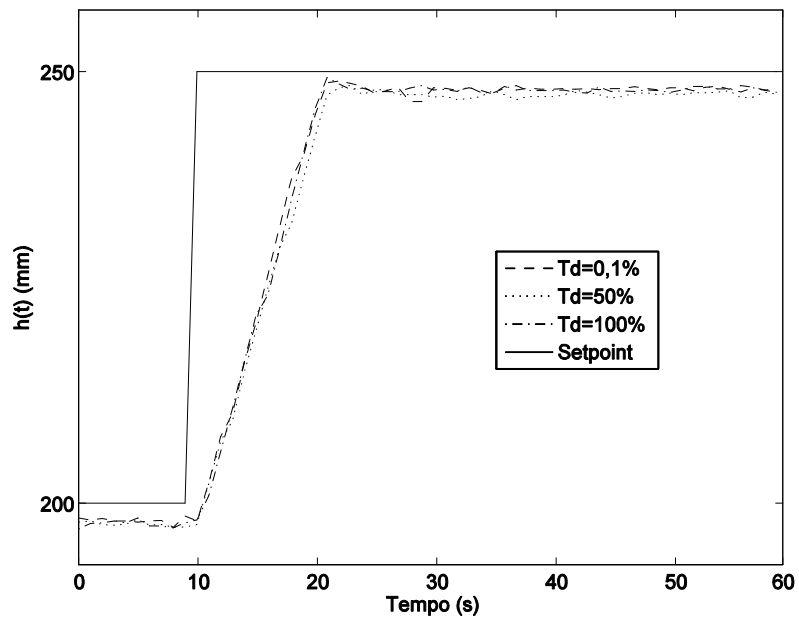


Figura 99 - Resposta no tempo para uma variação no nível de referência da água num Controlador Proporcional Derivativo (PD) na leitura, para valores de T_d a 0,1%, 50% e 100% da escala do controlador.

Como o processo de controle de nível, é um processo lento em comparação à velocidade de processamento do autômato, o controlado PD não apresenta vantagens para este processo de controle, mostrando muita instabilidade, sendo incapaz de se fixar na altura de referência.

Capítulo 6 - Conclusão

6.1. Conclusões

Neste trabalho, foi proposto o desenvolvimento e o estudo de um sistema para controlar um pequeno aproveitamento hidroeléctrico, incidindo principalmente no controlo de nível da câmara de carga, utilizando um autómato Modicon Premium a uma consola táctil Magelis.

O controlo de nível da câmara de carga, em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos, é um dos factores mais importantes na viabilidade e competitividade da central, deste modo consegue-se aproveitar toda a energia disponível, turbinando todo o caudal afluente de uma forma constante, daí a importância do estudo desta área.

Usando uma tina de água, um autómato programável, uma consola táctil e uma válvula proporcional à saída da tina, foi possível efectuar a simulação em laboratório do controlo do nível de água numa câmara de carga.

Para efectuar a recolha de dados, foram variados todos os parâmetros do controlador PID do autómato e retirados valores para cada variação. No final e através do ajuste do ganho proporcional (K_p), pelo método da bissecção, de um controlador proporcional, o controlador apresentava resultados robustos e adequados de acordo com o desempenho especificado. Desta forma garante-se os aproveitamentos é explorados de forma óptima.

No início desta dissertação foi proposto o desenvolvimento de uma interface gráfica, numa consola táctil para controlo de nível de uma câmara de carga num pequeno aproveitamento hidroeléctrico, utilizando uma consola Magelis e um autómato Modicon Premium.

Todo o sistema de interface de automação deveria estar ligado em rede, e esta ligada a um servidor externo para se poder ter acesso via Web. Para isso dependia o estudo e compreensão de todos os equipamentos e de estrutura de redes dos vários equipamentos.

Foi feita uma abordagem matemática de controlo de nível, estudo e compreensão do funcionamento das pequenas centrais hidroeléctricas e estudo e compreensão de todos os equipamentos utilizados para o controle da central. Após esta análise desenvolvi a programação para o autómato e a interface gráfica para a consola. Posteriormente realizou-se a montagem e simulação de controlo de nível numa câmara de carga.

As dificuldades encontradas, para a correcta comunicação entre os vários equipamentos foram superadas com a ajuda dos engenheiros do suporte técnico da Schneider Electric. Através dos contactos com esses especialistas e expondo as dúvidas, criou-se uma relação cliente/fornecedor que reproduziu um ambiente de trabalho profissional, representando uma situação normal no mundo do trabalho.

Após a conclusão do trabalho foi com agrado e felicidade que todos esses objectivos foram cumpridos.

O estudo e compreensão da estrutura de automação utilizada foram uma mais-valia para mim a nível pessoal e profissional. Com o desenvolvimento deste trabalho, adquiri conhecimentos em redes de automação, desenvolvimento de painéis de interface gráfica, ligações em rede de diversos equipamentos utilizados na indústria e controlo à distância dos mesmos via Web.

6.2. Sugestões de Trabalhos Futuros

As aplicações onde as consolas tácteis se inserem são enumeram. Dispões de grandes bibliotecas de animações e funcionalidades que podem representar graficamente qualquer ambiente de trabalho industrial. Para além disso dispões de versatilidade de comunicação com diversos aparelhos e de diferentes marcas.

Com a ligação em rede desta interface de automação, pode ser possível interligar mais equipamentos, e ligar a rede implementada a outras redes. Este tipo de consolas tem o poder de comunicar com mais que um processador em simultâneo, uma sugestão para um trabalho futuro seria aumentar o número de autómatos na rede, por exemplo o Modicon Premium e o Modicon M340, e fazer com que a consola interaja com os dois autómatos, em simultâneo.

Esse tipo de implementações é comum na indústria, pois concentra as acções de vários autómatos numa consola só.

Bibliografia

- [1] S.J.P. Simões Mariano, “Controlo de Nível em Pequenos Aproveitamentos Hidroeléctricos” , Universidade da Beira Interior, Covilhã Portugal.
- [2] Soares Martins, “Modelação e Controlo de um Sistema de Nível de Líquido para o Ensino de Controlo de Sistemas em Engenharia Electrotécnica”, Lisboa, 2008.
- [3] Diário da República, 1.ª série – N.º 73 – 15 de Abril de 2010.
- [4] M.G. Castro Rui, “Introdução à Energia Mini-Hídrica”, [livro], IST, Dezembro 2002.
- [5] http://www.energiasrenovaveis.com/Biblioteca.asp?ID_area=21&tipo_area=0.
- [6] Gil Norberto, Mousaco Hugo, “Modelação e controlo de um Aproveitamento Mini-Hídrico”, Projecto Electromecânico, UBI, Julho de 2003.
- [7] British Hydropower Association, “A Guide To UK Mini-Hydro Developments”, [livro], versão 1.2, Janeiro 2005.
- [8] “Manuales sobre energia removable- Hidráulica a pequena escala”, 1ª edición, Editora Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
- [9] European Small Hydropower Association - ESHA, [Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant], ESHA, 2004.
- [10] Electric, Schneider, “Automation Platform Modicon Premium”, [Catalogue], 2008.
- [11] Electric, Schneider, “Premium PLC’s TSX 57/ PCX 57 Processors implementation”, [Manual], 2008.
- [12] Electric, Schneider, “Dialogo Homem Maquina - Documento técnico nº4”, [livro], 2009.
- [13] Telemecanic, “Modicon Premium PLCs - TSX AEY Analog Input Modules”, [catalogo], Schneider Electric, 2009.
- [14] Telemecanic, “Interface Homem-Maquina - Guia Essencial”, [livro], 2007.
- [15] “Descrição Geral da Automação”- apontamentos teóricos.
- [16] <http://energy.saving.nu/hydroenergy/technology.shtml>