



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU



PEDRO BORGES PERES JUNIOR

ESTUDO DAS DIRETRIZES BÁSICAS DE UM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO DE
UMA PCH

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2015

PEDRO BORGES PERES JUNIOR

ESTUDO DAS DIRETRIZES BÁSICAS DE UM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO DE
UMA PCH

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Prof.^a Regiane de Sousa e Silva Ramalho

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

Julho/2015

Junior, Pedro Borges Peres. Estudo das diretrizes básicas de um processo de automação de uma PCH / Pedro Borges Peres Junior 2015. 68 p. Orientadora: Prof.^a. Regiane de Sousa e Silva Ramalho. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação.

2.1 Pequena Central Hidrelétrica; 3. Automação da PCH; 4. Lógica do Sistema

CDU:

Catálogo:

Monografia defendida e aprovada, em 03 de julho de 2015, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. MSc. Regiane de Sousa e Silva Ramalho – Orientadora



Profa. MSc. Adrielle de Carvalho Santana – Professora Convidada



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

*Não confunda jamais
conhecimento com sabedoria.
Um o ajuda a ganhar a vida;
o outro a construir uma vida.*
Sandra Carey

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela força e perseverança na busca dos meus sonhos. Por ter me permitido lutar pelos meus objetivos e assim dar mais um passo na caminhada da minha vida.

À minha família, meu pai Pedro, minha mãe Roma e meu irmão Gustavo. Sempre estiveram ao meu lado, me apoiando. São a minha base, meus exemplos de vida. Pai e Mãe por sempre acreditarem no meu potencial e pelo amor incondicional conciliado de tantos ensinamentos que pude obter com vocês. Meu irmão pela amizade e companheirismo durante toda essa etapa e nas próximas que virão.

À minha namorada Domênica. Uma das pessoas que tive o maior prazer de conhecer durante uma das etapas mais importantes da minha vida. Muito obrigado pelo apoio incondicional e pelas cobranças necessárias durante os meus momentos de preguiça. O teu companheirismo, amizade e carinho durante todo esse tempo foi de extrema importância. Te considero um exemplo a seguir pela sua perseverança e luta em buscar seus sonhos. Te amo muito! E continuaremos de mãos dadas na nossa caminhada.

À minha segunda família, Vitor e Elza. Duas pessoas que ganhei como presente em minha vida e que sempre me dão conselhos e incentivos valiosos. Muito obrigado por sempre me mandarem pensamentos positivos.

À amizade. Aos meus amigos Viajadus, pela grande amizade que nos acompanha desde a infância. Foram muitas conquistas compartilhadas e sempre estivermos ao lado um do outro pra ajudar em qualquer situação. Ao Serjão, meu grande irmão de infância que sabe me guiar e me aconselhar para o caminho certo. Tamo junto meu brother. Aos meus amigos de Ouro Preto e a grande turma 09.1 de Automação. Beltrano, Guizera, Xandão, Klypso, Vitão, Alex, Acniz, Mocarongo, Vinicius, Rapha, Bacon, Bitoka e Fábio. É impossível imaginar minha graduação sem a irmandade de vocês. Amizade pra vida inteira.

Aos meus companheiros malucos de Montreal. Fizeram do meu intercâmbio uma das etapas mais especiais e magníficas que já passei. Vocês fizeram valer a pena essa experiência.

Obrigado à UFOP, por ter me proporcionado os melhores anos da minha vida. Uma infraestrutura e um ensino de qualidade. Obrigado aos professores pelos ensinamentos e grande paciência em ajudar os alunos e guia-los para o caminho certo. À professora Regiane, pela orientação e conselhos durante a fase final da faculdade.

Por fim, sempre irei agradecer a Deus por esta etapa e por colocar todas essas pessoas especiais em meu caminho durante essa conquista.

RESUMO

A energia elétrica é uma das formas de energia de maior importância socioeconômica para uma região ou país, sendo fundamental para o desenvolvimento pleno de uma sociedade. As usinas hidrelétricas representam uma das fontes de produção da energia elétrica sendo responsáveis pela maior parte da matriz energética consumida no Brasil. Além deste aspecto, ressalta-se a crescente preocupação ambiental relacionada à instalação e utilização de procedimentos energéticos. Nesse contexto, surgem as Pequenas Centrais Hidrelétricas, como uma alternativa de fornecimento de energia que objetiva um melhor atendimento à necessidade da população de pequenos centros urbanos, locais remotos, regiões rurais, etc. Assim, neste trabalho são apresentadas definições importantes referentes às Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), desde seu conceito primário, até suas características principais, e os equipamentos existentes em suas instalações. É proposta, no presente estudo, a utilização de um Sistema Digital de Supervisão e Controle de uma PCH com o intuito de aperfeiçoar seu processo de funcionamento. Assim sendo, realizou-se um estudo bibliográfico da temática, seguido de uma análise acerca das principais variáveis controladas em uma PCH. Apresenta-se uma lógica de controle e um sistema de supervisão, concluindo o trabalho com uma análise geral acerca desta proposta.

Palavras-chave: CLP; Pequena Central Hidrelétrica (PCH); Sistema Digital de Supervisão e Controle; SCADA.

ABSTRACT

Electrical energy is one of the energy way of greater socioeconomic importance to a region or country and it is essential for the full development of a society. Hydropower plants represent one of the sources of production of electricity accounting for most of the energy mix consumed in Brazil. Apart from this aspect, it emphasizes the growing environmental concern related to the installation and use of energy procedures. In this context, there are the Small Hydro Power as an alternative energy supply that aims to serve better the needs of the population in small urban centers, remote places, rural areas, etc. Thus, this work presents important definitions relating to Small Hydro Power (SHP), from its primary concept, to its main features, and existing equipment in their facilities. It is proposed in this study, the use of a Digital System of Supervision and Control of PCH in order to improve its functioning process. Therefore, we carried out a bibliographic study of the theme, followed by an analysis of the main controlled variables in a PCH. It presents a control logic and a supervisory system, completing the work with a general analysis about this proposal.

Keywords: PLC; Small Hydro Power (SHP); Digital System Supervision and Control; SCADA.

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT	Associao Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CLP	Controlador Lógico Programável
CP	Controlador Programável
CPU	Unidade Central de Processamento
NEMA	National Electrical Manufactures Association
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
P.I.D.	Controle Proporcional Integral Derivativo
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados
UHE	Usinas Hidrelétricas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das PCH's quanto à potência e quanto à queda de projeto	18
Tabela 2 - Pontos de entrada do CLP.....	55
Tabela 3 - Pontos de saída do CLP	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio de funcionamento da usina hidrelétrica	14
Figura 2 - Componentes da PCH	21
Figura 3 - Divisão hierárquica de um processo de automação industrial	23
Figura 4 - Princípio básico de funcionamento de um CLP	25
Figura 5 - Arquitetura interna básica de um CLP	26
Figura 6 - Estrutura física de um sistema de automação	28
Figura 7 - Redes Industriais: Arquitetura das redes	30
Figura 8 - Redes Industriais: Níveis	31
Figura 9 - Automação: Passos	33
Figura 10 - Turbinas Francis	35
Figura 11 - Esquema do sistema de bombeamento	36
Figura 12 - Esquema do sistema de regulação	37
Figura 13 - Diagrama de bloco do circuito eletrônico	39
Figura 14 - Gerenciamento de planta	57
Figura 15 - Monitoração de grandezas elétricas	58
Figura 16 - Condições para a partida	59
Figura 17 - Sequência de parada	60
Figura 18 - Monitoração do gerador	61
Figura 19 - Sistema de Água para resfriamento	62
Figura 20: Tela do Diagrama Unifilar Geral.....	63
Figura 21: Tela de Alarmes	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Justificativa do Trabalho	15
1.3 Metodologia Proposta.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Pequena Central Hidrelétrica.....	17
2.1.1 Definição	17
2.1.2 Principais Componentes de uma PCH e sua operação	18
2.1.3 Vantagens e Desvantagens das PCHs.....	21
2.2 Automação.....	22
2.2.1 Controlador Lógico Programável	24
2.2.1.1 Princípio de funcionamento da CLP	24
2.2.1.2 Arquitetura básica do CLP	25
2.2.2 Sistema Supervisório	26
2.2.2.1 Camadas físicas de um sistema supervisório	27
2.2.2.2 Planejamento do sistema supervisório	29
2.2.3 Redes Industriais.....	30
3 PROJETO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE UMA PCH	33
3.1 Regulador de Velocidade	34
3.1.1 Circuitos construtivos do Regulador de Velocidade	36
3.2 Regulador de Tensão	40
3.3 Comando e Controle.....	41

3.3.1 Comando.....	41
3.3.2 Controle	43
3.4 Sistemas de Proteção	47
3.4.1 Proteções indicadas para o gerador elétrico	47
3.4.2 Proteções indicadas para o transformador	48
3.4.3 Pára-raios	48
3.4.4 Check sincronismo	49
3.4.5 Proteção do serviço auxiliar	49
4 VARIÁVEIS CONTROLADAS E SISTEMA DE SUPERVISÃO EM UMA PCH	50
4.1 Instrumentação e variáveis relacionadas.....	50
4.1.1 Barragem.....	50
4.1.2 Tomada D'Água.....	51
4.1.3 Casa de Força	51
4.1.4 Subestação	52
4.2 Sistemas de Controle para uma PCH	52
4.2.1 Redes de Comunicação.....	53
4.2.2 Linguagens de programação do CLP	53
4.2.3 Levantamento dos pontos de entrada e saída do CLP	54
4.3 Sistemas de Supervisão para uma PCH	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores que auxiliam diretamente a melhoria do estado de vida das populações mundiais é a geração de energia, a existência e sobrevivência da sociedade contemporânea com todos os seus avanços tecnológicos e científicos, é completamente impensável sem a eletricidade. A evolução notória da eletricidade nos últimos anos, que surgiu inicialmente apenas como fonte de energia complementar ao carvão e ao vapor, a coloca como categoria principal para a manutenção das civilizações (VERGILIO, 2012).

Na atualidade, o mundo globalizado exige cada vez mais das nações que busquem formas de serem autossuficientes em vários âmbitos, incluindo a geração de energia aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que possam suprir a demanda interna do país. Considerando as necessidades advindas deste processo de globalização, o setor elétrico busca meios para ampliar e aperfeiçoar a geração de energia, estando cada vez mais atentos a questões sociais e ambientais (PACHECO, 2006).

Diante disto, cada sociedade aderiu e investiu em um modelo de geração de energia adequado às suas realidades específicas tanto territoriais quanto econômicas, muitos investiram em usinas nucleares, outros em termelétricas e outros tantos, como no caso do Brasil, investiram nas usinas hidrelétricas, a fim de aproveitar a abundância de suas bacias hidrográficas (PACHECO, 2006).

Atualmente a matriz energética brasileira representa uma das fontes de energia mais limpa do mundo, em que a maioria de toda energia adquire-se por meio da utilização de usinas hidrelétricas (GOVERNO FEDERAL, 2015).

As usinas hidrelétricas ou centrais hidroelétricas se constituem de um projeto complexo que envolve demandas referentes à diversos ramos da engenharia: civil, elétrica, mecânica, ambiental, automação, etc. Está envolta em grandes obras e uma gama de equipamentos que tem por objetivo produzir energia elétrica por meio do aproveitamento do potencial hidráulico de determinada bacia. Elas funcionam com turbinas acionadas à partir da pressão da água, transformando a energia potencial em energia mecânica e depois de passar pelo gerador a energia potencial se transforma em energia elétrica (VERGILIO, 2012).

O princípio de funcionamento de uma usina hidrelétrica consiste no processo de transformar energia potencial gravitacional da água em energia mecânica na turbina hidráulica, a qual acoplada ao gerador fornece energia elétrica, conforme demonstrado na figura 1.

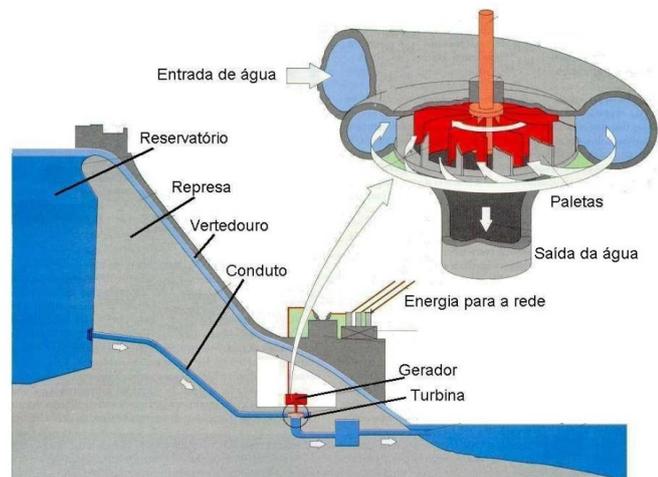


Figura 1 - Princípio de funcionamento da usina hidrelétrica

Fonte: Infoescola (2014).

Paralelo ao conceito de Usinas Hidrelétricas encontra-se a definição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH) na qual a potência instalada determina seu porte como menor que das grandes usinas e que, na visão de Clemente (2001) é oriunda de normas da década de 1980. Esse tipo de usina foi pioneira no atendimento de energia elétrica às cidades e indústrias no início do século XX.

Desde a reestruturação do setor elétrico brasileiro, ocorrida a partir de meados da década de 1990, as Pequenas Centrais Hidrelétricas tornaram-se um excelente atrativo, pois o Governo Federal proporcionou uma série de incentivos regulatórios para a implantação de empreendimentos desta natureza no país (Clemente, 2001, p.7).

A automação nas Usinas de geração elétrica é um elemento essencial para o seu desempenho e funcionamento adequado e, também, para a sua viabilização econômica. As PCHs, por sua vez, permitiram a otimização dos processos, o incremento na produtividade e lucratividade, redução dos custos operacionais e o aumento considerável da segurança e disponibilidade destas usinas, como são de pequeno porte, os pequenos detalhes fazem a diferença que viabilizam economicamente o empreendimento (BOZZETO e BIANCHI, 2008).

Um dos itens presentes na automação das usinas, segundo Clemente (2001) é o sistema de supervisão e controle, que demanda determinado investimento da empresa. A importância das pequenas centrais no cenário energético do país por si só já justificaria a busca por modernização das PCHs existentes. Porém, é importante lembrar que o processo de automação vai além dessa justificativa e decorre também de questões econômicas, partindo da política interna da empresa, da qualidade de mão de obra e da necessidade de treinamento.

Baseado no exposto, a proposta deste trabalho é realizar uma profunda análise de um sistema de supervisão e controle para uma Pequena Central Hidrelétrica.

1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo aprofundado sobre os principais componentes de uma Pequena Central Hidrelétrica, identificando as variáveis mais importantes a serem automatizadas e controladas, interligando as mesmas a um sistema de supervisão e automação.

1.2 Justificativa do Trabalho

Com o aumento da competitividade em projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), aderir às novas tecnologias e buscar a redução de custo são ações essenciais para a viabilização de novos empreendimentos. Um sistema gratuito de supervisão e controle aumentaria o diferencial competitivo em novas usinas.

A evolução tecnológica dos equipamentos digitais industriais possibilita inovações nas aplicações de sistemas de controle e automação por meio da integração de inúmeras funções num único equipamento, atendendo com reserva de qualidade todas as exigências das normas internacionais e todas as necessidades dos sistemas interligados e dos sistemas isolados de geração de energia.

Este trabalho tem como objetivo identificar algumas das variáveis mais importantes a serem controladas e monitoradas dentro de uma PCH, visando melhorar a manutenção e controle de equipamentos e processos, além de poder solucionar futuros problemas com maior rapidez.

1.3 Metodologia Proposta

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram necessárias as seguintes etapas:

a) Estudo aprofundado e revisão bibliográfica sobre o PCH;

- b) Definição da proposta do trabalho;
- c) Revisão bibliográfica sobre redes de comunicação, Controlador Lógico Programável (CLP) e sistema supervisório;
- d) Estudo de um projeto de Automação para PCH;
- e) Estudo das principais variáveis envolvidas no processo e seleção dos equipamentos a serem utilizados;
- f) Arquitetura do projeto de telas para o supervisório.

Por fim, será apresentada uma conclusão geral acerca da temática abordada, ressaltando as contribuições deste estudo para o pesquisador e para o setor acadêmico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pequena Central Hidrelétrica

2.1.1 Definição

Será considerado como característica de Pequena Central Hidrelétrica (PCH) o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área de reservatório inferior a 3,0 km² (ANEEL, 2003).

Esta definição atende aos critérios de identificação de PCHs presentes na Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL n° 652, de 9 de dezembro de 2003, que devem ser observados pelos agentes do setor elétrico e pela sociedade em geral, levando em consideração também aspectos referentes à sistemática de fiscalização da potência instalada (ANEEL, 2003).

Além disso, pode-se classificar uma usina hidrelétrica quanto ao seu reservatório. A de acumulação possui um reservatório de tamanho suficiente para acumular água na época das cheias para uso na época de estiagem, tendo assim uma vazão definida, maior que a vazão natural. Com isso, pode-se garantir uma capacidade mínima de geração de energia elétrica em determinados períodos (SILVEIRA et.al., 2002).

Porém, se a usina não tiver esta característica, ela poderá ser uma usina a fio d'água, que, geralmente, apresenta uma capacidade de armazenamento muito pequena e somente pode utilizar a água à medida que esta chega até ela. Uma Pequena Central Hidrelétrica, justamente, não trabalha com grande volume de água como hidrelétricas de grande porte, ela é chamada de usina a fio d'água, porque é instalada próxima à superfície e conta com turbinas que aproveitam a velocidade do curso de água para gerar a energia. (SOUZA et.al., 1983).

Além das PCHs, a ANEEL define usinas com potência instalada de até 1.000 kW como Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH. Já as que superam a potência de 30.000 kW são definidas como Usinas Hidrelétricas – UHE (ANEEL, 2003).

Assim sendo, com intuito de estabelecer uma definição mais precisa acerca da definição das classificações de uma Central Geradora Hidrelétrica, analisando sua potencia e a queda de projeto, segue um detalhamento na Tabela 1, envolvendo a divisão entre pequenas, mini e microcentrais hidrelétricas.

Tabela 1 – Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (kW)	QUEDA DE PROJETO - H _d (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	P < 100	H _d < 15	15 < H _d < 50	H _d > 50
MINI	100 < P < 1.000	H _d < 20	20 < H _d < 100	H _d > 100
PEQUENAS	1.000 < P < 30.000	H _d < 25	25 < H _d < 130	H _d > 130

Fonte: ELETROBRÁS, 2000

Comparando as Usinas Hidrelétricas de Energia e as PCHs, podem-se encontrar tanto vantagens quanto desvantagens, as quais serão elencadas ainda neste trabalho.

2.1.2 Principais Componentes de uma PCH e sua operação

Em termos operacionais, as PCHs são unidades geradoras de energia elétrica que funcionam com reservatórios mínimos ou derivações de curso d'água permanentes. Elas normalmente operam a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo da água. Com isso, em ocasiões de estiagem, a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. Em outras situações, as vazões são maiores que a capacidade das máquinas, permitindo a passagem da água pelo vertedouro (VERGILIO, 2012).

Este tipo de hidrelétrica é normalmente instalada em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas, não necessitando da construção de grandes barragens para tal.

Como principais componentes de uma PCH e suas respectivas funções, temos (SITE 1, 2015):

- Reservatório: é formado pelo represamento das águas de um rio, por meio da construção de uma barragem; acumula água para regularizar o rio e garantir uma vazão mínima a ser turbinada.
- Vertedouro: serve para controlar o nível de água do reservatório (quando chove muito, por exemplo), impedindo que numa grande cheia, a água passe por cima da barragem, danificando sua estrutura.
- Sistema de Captação da água ou Tomada d'água: a água armazenada no reservatório é conduzida sob grande pressão através de canais ou tuneis até a casa de força; assim trata-se de uma estrutura para a captação da água do reservatório, geralmente construída de concreto.
- Corredeira: é a seção de um rio ou curso de água onde o leito do rio tem o gradiente relativamente alto, aumentando a velocidade da água e a turbulência. Uma corredeira é uma característica hidrológica entre uma leve correnteza e uma cascata. Caracteriza-se pelo rio tornar-se mais raso e com algumas rochas expostas acima de sua superfície.
- Barragem de concreto ou de terra: servem de obstáculo para o curso d'água natural, e para formar o reservatório; aquelas de concreto têm a mesma finalidade das feitas de terra: abriga a tomada d'água e vertedouro e podem ser feitas de alvenaria ou madeira.
- Desvio: os esquemas de desvio do rio variam em função dos aspectos topográficos, hidrológicos e geológico-geotécnicos do sítio da PCH. Normalmente, o desvio é realizado em duas fases, distintas conforme a localização que pode ser em: sítios de vales abertos, sítios em vales encaixados ou sítios em vales medianamente encaixados.
- Desarenador: é instalado, principalmente, com intuito de eliminar os depósitos do fundo do reservatório e esvaziá-lo.
- Canal de adução: conduz a água do reservatório da tomada d'água à câmara de carga. Segue uma mesma curva de nível (praticamente não tem queda).
- Câmara de carga: é um elemento que liga o canal de adução ao conduto forçado, não permitindo a entrada de ar neste último.
- Conduto forçado: este conduz a água sob pressão no trecho mais inclinado, até a casa de máquinas, onde irá ser turbinada.

- Casa de força ou de máquinas: é composta por turbinas hidráulicas, geradores elétricos e os equipamentos de controle. Também pode abrigar os equipamentos elétricos de transmissão.
 - Turbinas: são formadas por pás montadas em torno de um eixo. A pressão da água gira as pás e provoca um movimento circular do eixo, acionando o gerador.
 - Gerador: localizado acima das turbinas. Composto por um eletroímã fixo e um fio bobinado no rotor, que gira com o eixo.
 - Sistema Auxiliar Elétrico: É um conjunto de equipamentos e subsistemas que, literalmente de forma auxiliar, contribui de maneira significativa em todo processo de geração de energia elétrica. Para tal, o sistema auxiliar elétrico deve garantir suprimento de energia elétrica com segurança, confiabilidade e qualidade.

Basicamente, o serviço auxiliar elétrico é composto de dois conjuntos: um de equipamentos em corrente alternada (CA) e outro em corrente contínua (CC).
- Subestação elevadora: depois de gerada, a energia é conduzida através de calor ou barras condutoras dos terminais do gerador até a subestação. Nela, transformadores elevam sua tensão. Isso é essencial para que a energia possa ser transportada a grandes distâncias.
- Sistema de água industrial: é um sistema que geralmente está distribuído em toda instalação da casa de força, tendo como fonte de água o reservatório da barragem. Além de disponibilizar água de serviço em diversos locais da instalação e abastecer também todo o sistema de combate a incêndio, a principal finalidade deste sistema é alimentar o resfriamento do gerador e dos mancais e da turbina.
- Canal de fuga: depois de passar pela casa de força, a água utilizada para movimentar as turbinas é devolvida ao leito natural do rio por meio dos canais de fuga, devolvendo ao leito do rio a vazão de água que passou pela turbina e gerou energia.
- Linha de transmissão: realiza o transporte de energia elétrica, geralmente usando corrente alternada, que de uma forma mais simples conecta uma usina ao consumidor.

Assim, segue abaixo uma ilustração básica elucidando os principais componentes de uma PCH:

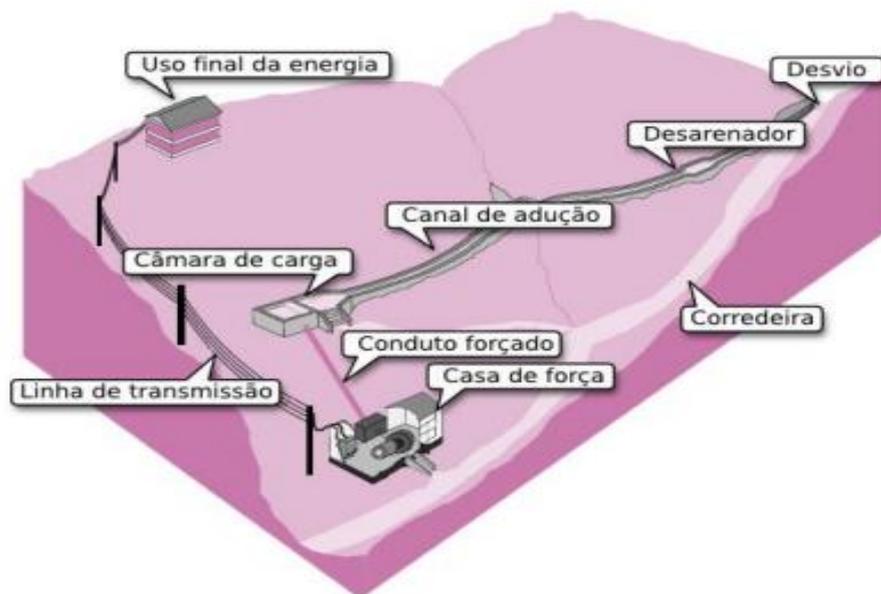


Figura 2. Componentes da PCH

Fonte: (VERGILIO, 2012)

Finalizando, é importante ressaltar que o leito original do rio deverá ser mantido com uma vazão mínima (denominada vazão sanitária) por motivos ambientais e também o trecho logo após o canal de fuga deve manter as mesmas características originais de antes da construção da PCH.

2.1.3 Vantagens e Desvantagens das PCHs

Com o interesse mundial na utilização de fontes renováveis para a produção de energia e que resultem no mínimo de impacto ao meio ambiente, o uso de PCHs acaba tendo uma grande vantagem neste quesito. Além disso, a utilização das mesmas contribui com a diminuição da emissão de gases de efeito estufa ao substituir fontes térmicas fósseis. Entre outras vantagens, podemos citar o custo acessível, o prazo reduzido de construção devido às obras civis de pequeno porte, disponibilidade de tecnologias eficientes, redução nas perdas do sistema elétrico e desenvolvimento regional (VERGILIO, 2012).

As Pequenas Centrais Hidrelétricas representam, atualmente, uma forma rápida e eficiente de expandir a oferta de energia elétrica, visando suprir a crescente demanda verificada no mercado nacional. Esse tipo de empreendimento possibilita um melhor atendimento às

necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, uma vez que, na maioria dos casos, complementa o fornecimento realizado pelo sistema interligado (ANEEL, 2003).

Outra importante vantagem está relacionada com as facilidades oferecidas pela Legislação, entre as quais estão: necessidade apenas de autorização da ANEEL para implantação; redução, no mínimo, de 50% para as tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição; participação nas vantagens técnicas e econômicas da operação interligada; isenção do pagamento da compensação financeira pelo uso dos recursos hídricos (VERGILIO, 2012).

A principal desvantagem do uso de PCHs é em relação ao alto custo do kW produzido pelas mesmas. Por operarem, normalmente, a partir de um fio d'água, o reservatório não permite a regularização do fluxo de água, estando totalmente sujeita à sazonalidade hídrica. Outro fator que pode causar atrasos na concepção é a licença ambiental, que embora seja simplificada, pode ser demorada (VERGILIO, 2012).

Então, além de ser um empreendimento viável a todo território brasileiro, uma das vantagens da PCH é que as instalações resultam em maiores impactos ambientais positivos e se prestam à geração descentralizada de energia. Outra vantagem é que a indústria brasileira fornece os recursos necessários na área de engenharia para a realização dos projetos de construção de uma PCH, assim pode-se dizer que elas possuem ótimas taxas de retorno (DIAS, 2014).

Portanto, por serem menores, as pequenas centrais tem menor custo na construção, causam menos dano ambiental e podem ser construídas em rios de menor vazão, além de contribuir para uma descentralização da geração de energia. Porém, elas acabam por gerar uma energia mais cara, porque nem sempre haverá fluxo de água suficiente para atuar em suas turbinas, devido a estiagem em determinadas épocas do ano, o que não acontece com usinas maiores devido a presença de grandes reservatórios (VERGILIO, 2012).

2.2 Automação

Automatizar significa criar um sistema em que seus próprios mecanismos controlam seu funcionamento, sem a interferência do homem. A automação é resultado de inúmeras necessidades da indústria, como por exemplo, maior nível de qualidade dos produtos, maior flexibilidade de modelos para o mercado, menores custos e perdas, maior disponibilidade e qualidade da informação sobre o processo e o melhor planejamento e controle da produção (MARTINS, 2012).

Podemos dividir a automação em uma série de níveis, como representada na Figura 3 (CASSIOLATO, 2011).

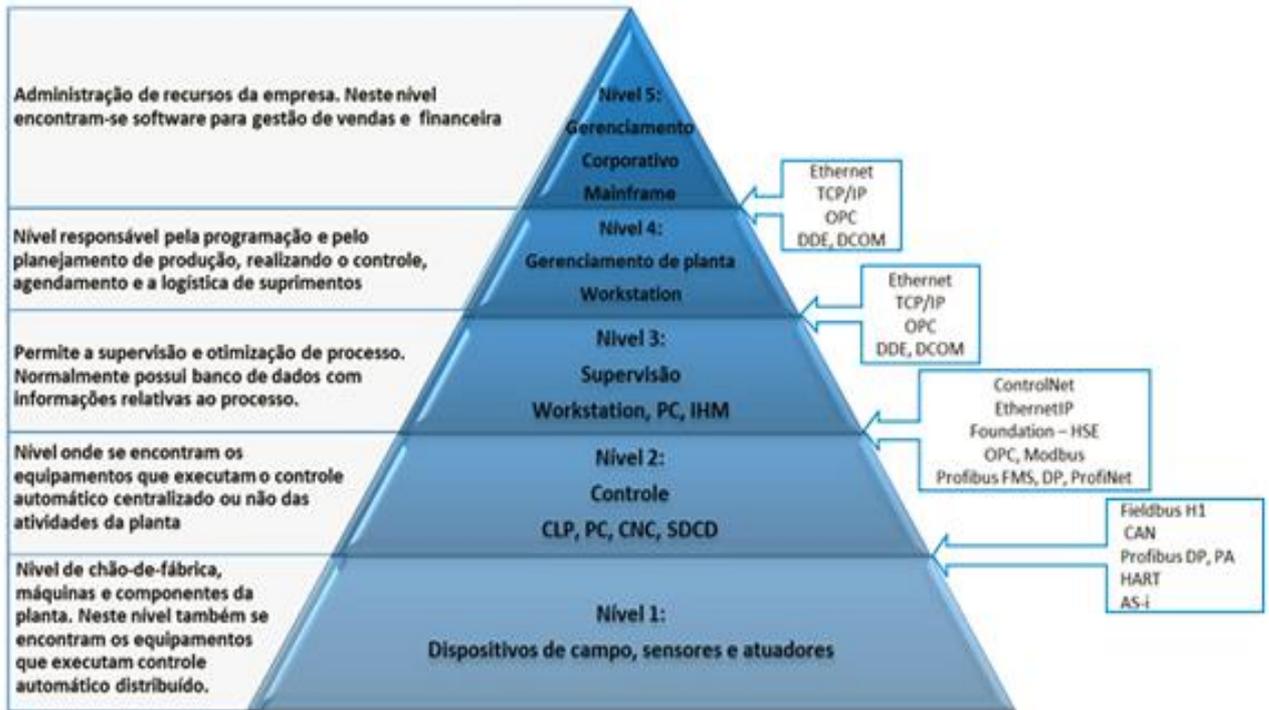


Figura 3 – Divisão Hierárquica de um Processo de Automação Industrial
Fonte: CASSIOLATO (2011).

Conforme demonstra a figura anterior, no nível um, encontra-se as máquinas, dispositivos e componentes. O nível dois é composto pelos controladores digitais, dinâmicos e lógicos e de algum tipo de supervisão. No próximo nível está o sistema conhecido na Língua Inglesa como *Supervisory Control and Data Acquisition* ou pela sigla SCADA, onde é permitido o controle do processo produtivo, além de ser constituído por banco de dados. O nível quatro tem como função principal a programação do planejamento da produção, realizando controle e a logística dos suprimentos. E por último, tem-se o nível cinco, que é responsável pela administração dos recursos da empresa, onde se realiza a decisão e o gerenciamento de todo o sistema, além de apresentar softwares para a gestão de vendas e da parte financeira (NASCIMENTO, 2008).

Assim, uma vez que a automação relaciona-se diretamente com sistemas de qualidade, pois garante a manutenção de uma produção de qualidade, além de poder garantir também o cumprimento de normas ambientais, conclui-se que ela exerce papel preponderante na sobrevivência de indústrias, pois garante a melhoria do processo produtivo (NASCIMENTO, 2008).

2.2.1 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP), também conhecido pela sigla PLC do inglês *Programmable Logic Controller*, pode ser encontrado no nível 2 da automação industrial e é um dispositivo desenvolvido para substituir os dispositivos a relé, que realizavam a lógica sequencial no controle das máquinas (SCHMIDT, 2008).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o CLP é definido como sendo um “equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais”. Um Controlador Lógico Programável é um computador dedicado, baseado num microprocessador que desempenha funções de controle por meio de softwares desenvolvidos pelo usuário (ABNT, 1987).

Já o NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*), o define como um “aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos” (SITE 2, 2015).

2.2.1.1 Princípio de Funcionamento do CLP

O melhor entendimento do funcionamento do controlador lógico programável parte de três principais conceitos, entre eles:

- Variáveis de entrada: sinais externos recebidos pelo CLP, que podem ser provenientes de fontes pertencentes ao processo controlado, como sensores ou chaves de acionamentos, ou de comandos gerados pelo operador (PINTO, 2004);
- Variáveis de saída: dispositivos, válvulas e lâmpadas, por exemplo, que são controlados por cada ponto de saída do CLP. Estes pontos podem servir para intervenção direta no processo controlado por acionamento próprio, ou também para sinalização de estados (PINTO, 2004);
- Programa: é a sequência específica de instruções que irão realizar as ações de controle desejadas, ativando ou não as memórias internas e pontos de saídas do CLP a partir da monitoração do estado das mesmas memórias internas e/ou dos pontos de entrada do CLP (SILVEIRA et. al., 2002).

Como um sistema microprocessado, o Controlador Programável apresenta seu princípio de funcionamento baseado em três passos, de acordo com a Figura 4 (SOUSA, 2002).

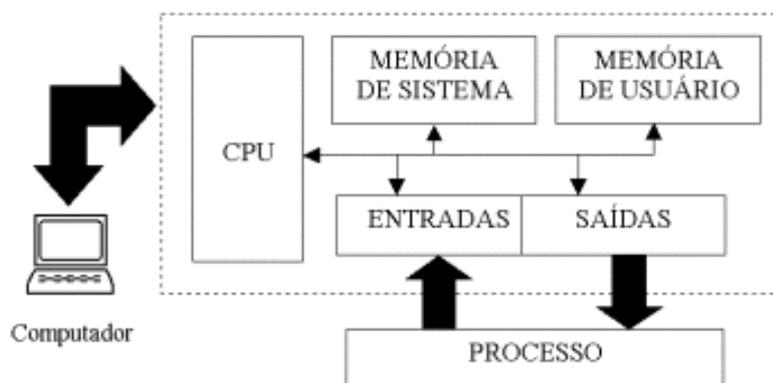


Figura 4 – Princípio básico de funcionamento de um CLP

Fonte: SOUSA, 2002.

Dentre as tarefas que são executadas após a partida, segundo Souza (2002), tem-se:

- Transferir os sinais existentes na interface de entrada para a memória de dados (RAM).
- Iniciar a varredura do *software* aplicativo armazenando na memória de programa (SCAN), utilizando os dados armazenados na memória de dados. Dentro deste ciclo, executar todas as operações que estavam programadas no software aplicativo, como intertravamentos, habilitação de temporizadores/contadores, armazenagem de dados processados na memória de dados, entre outros.
- Concluída a varredura do software aplicativo, o CLP irá transferir os dados processados (resultados de operações lógicas) para a interface de saída. Paralelamente, novos dados provenientes da interface de entrada alimentam a memória de dados.

2.2.1.2 Arquitetura básica do CLP

Um CLP é composto principalmente pelos seguintes componentes: Unidade Central de Processamento (CPU), que é a responsável pelas operações matemáticas; módulos de entrada e saída; módulos de comunicação com outros equipamentos; e por último o sistema de alimentação (GEORGINI, 2000).

A CPU tem como principais componentes o processador e a memória. O primeiro tem como função principal gerenciar todo o sistema, controlando a comunicação com dispositivos

externos e fazendo a aquisição das entradas e geração de saídas controlando os barramentos de endereços, de dados e de controle. Já a memória é responsável por armazenar e recuperar as instruções do programa, além de estados das entradas e saídas como estados internos e dados. Além da fonte de alimentação, das memórias e dos módulos de entrada e saída, há também a presença de circuitos auxiliares e da bateria (GEORGINI, 2000).

Na figura 5 pode-se encontrar de forma simplificada a estrutura interna do CLP.

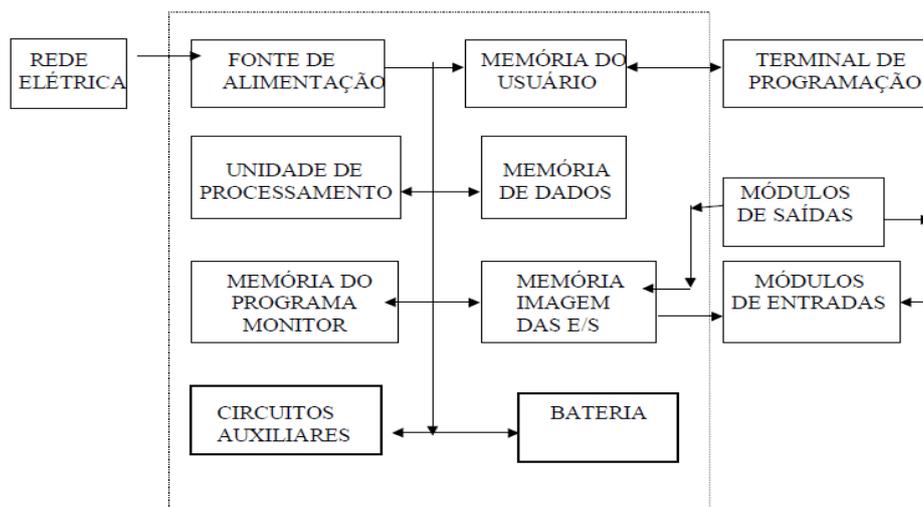


Figura 5 – Arquitetura interna básica de um CLP
Fonte: ANTONELLI, 1998

Os módulos de entrada e saída fazem a conexão física entre a CPU e o mundo externo, garantindo isolamento e proteção à CPU por meio de circuitos de interfaceamento (PINTO, 2004).

A fonte de alimentação apresenta a principal função de fornecer diferentes níveis de tensão exigidos tanto pelos módulos de entrada e saída como pela CPU (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

2.2.2 Sistema Supervisório

Um sistema supervisório pode ser definido como um programa que tem como função principal ilustrar o comportamento de um processo por meio de figuras e gráficos, tornando-se, assim, uma interface objetiva entre o operador e o processo (MARTINS, 2012).

Os sistemas de supervisão desempenham um papel de grande importância na estrutura da gestão organizacional, deixando assim de serem vistos como meras ferramentas operacionais ou de engenharia, e passando a ser como uma relevante fonte de informação. Podem-se definir três atividades básicas e fundamentais presentes nos sistemas de supervisão de

processos industriais automatizados: supervisão, controle e operação (UDDIN; MOHAMED; SALAM, 2000).

Segundo os autores acima mencionados, atuando de acordo com vários fatores, em nível tanto de software como de hardware, este tipo de sistema apresenta um ambiente de comunicação entre elementos de controle e monitoramento, o que traz benefícios e sofisticação, além de possibilitar a interação de todo o processo.

Rosário (2005) afirma que dentre os principais softwares de supervisão, pode-se destacar os seguintes:

- Elipse (Elipse);
- Wizcon (Emation);
- Intouch (Wonderware);
- Ifix (Intellution);
- RsView (Rockwell Automation);
- Cimplicity (Ge-fanuc);
- Unisoft (factory Link).

Apesar de serem de diferentes fabricantes, notam-se algumas das principais características que possuem em comum, como uma interface de dados amigável, geração automática de relatórios, facilidade para interação com outros softwares, histórico com acompanhamento das variáveis controladas, conexão via rede, modem ou rádio, entre outras (ROSÁRIO, 2005).

2.2.2.1 Camadas físicas de um sistema supervisório

O sistema supervisório está interligado principalmente entre os componentes físicos e, de acordo com a solução e implementação desejada, às tarefas lógicas divididas em blocos ou módulos. Sensores e atuadores, redes de comunicação, estações remotas são exemplos de componentes físicos. Como tarefas lógicas, podem-se destacar a comunicação com CLPs, o gerenciamento de alarmes, a interface gráfica, os relatórios, o histórico e banco de dados, além da comunicação com sistemas externos ou corporativos (MARTINS, 2012).

Partindo do conceito acima, a estrutura física do sistema supervisorio apresenta três camadas físicas, conforme figura 6:

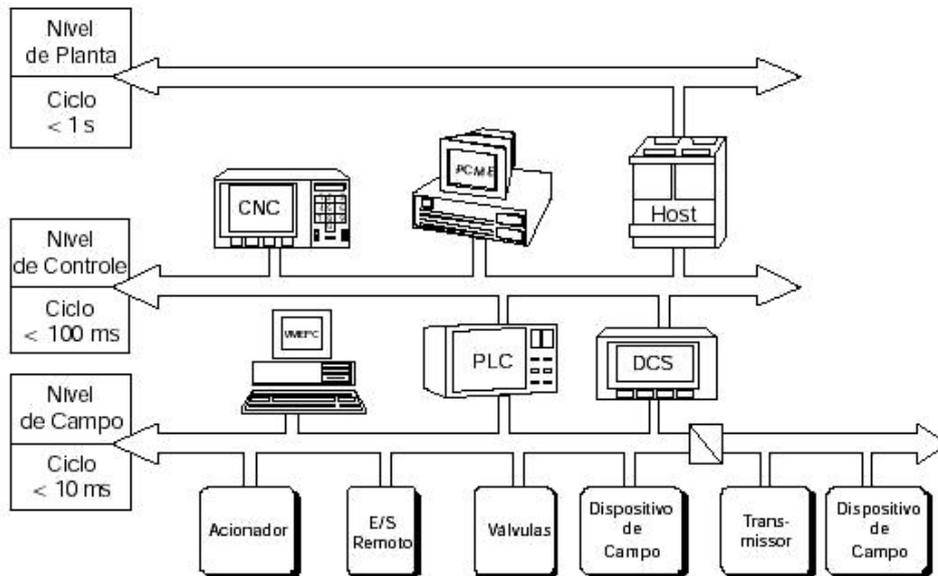


Figura 6 – Estrutura física de um sistema de automação.
Fonte: MARTINS, 2012.

Essas camadas encontram-se detalhadas a seguir:

- Primeira Camada: situam-se os equipamentos industriais, como por exemplo, os sensores, os quais geralmente estão conectados a um CLP. Esta comunicação é feita por meio de protocolos de comunicação de baixo nível, além de exigir o cumprimento de certos requisitos para ser efetivada com sucesso. Modbus, Fieldbus Foundation e Profibus são exemplos de protocolos para comunicação nesta camada (MARTINS, 2012).
- Segunda Camada: de modo geral, é onde ocorre a comunicação entre o(s) CLP(s) e o microcomputador, no qual o sistema supervisorio está sendo executado (MARTINS, 2012).
- Terceira Camada: situam-se nessa camada o microcomputador com o sistema supervisorio, os demais sistemas da indústria (administrativos, de fornecedores, de parceiros) e o acesso externo à organização (MARTINS, 2012).

2.2.2.2 Planejamento do Sistema Supervisório

Um planejamento eficiente pode ser alcançado de forma simplificada com o intuito de minimizar os erros e ter um controle eficaz e seguro do processo. Para isso, Moraes e Castrucci (2007), em seu estudo sobre a Automação Industrial, recomendaram os seguintes passos:

- Entendimento do processo a ser automatizado: é necessária uma reunião de uma variedade de informações, provenientes de várias fontes do processo;
- Tomadas de Dados: uma das metodologias a ser utilizada é a escolha de somente dados essenciais para a tomada, com o objetivo de que o sistema supervisório mantenha-se conciso;
- Planejamento de Banco de Dados: gerenciamento de dados que permite a organização das informações. Nos softwares supervisórios ele é utilizado para a manipulação das variáveis (tags) que serão usadas pelo sistema;
- Planejamento de Alarmes: Mensagens definidas pelo responsável do processo que alertam o operador sobre alguma situação anormal;
- Visualização de Históricos: visualização de variáveis, gráficos de históricos e tendências, mostrando como as variáveis de processos e suas ações foram modificadas em relação ao tempo;
- Planejamento da hierarquia de navegação entre telas: com o intuito de tornar o sistema prático, fácil e condizente com o processo. As telas devem seguir uma hierarquia lógica em que forneça detalhes da planta e seus constituintes à medida que se navega através do software;
- Desenho de telas: utilização de uma linguagem clara, evitando abreviações de difícil entendimento para o usuário e cores com significados conhecidos, como por exemplo, o vermelho e verde, que significa parada e partida respectivamente;
- Planejamento de um sistema de segurança: criar um sistema de acesso controlado com intuito de manter seguro as informações, que restringiria, por exemplo, certas ferramentas do programa de acordo com a habilidade do operador.

2.2.3 Redes Industriais

Baseados nos conceitos anteriormente apresentados, pode-se considerar que um sistema de controle e automação consiste em uma arquitetura de computação distribuída onde diversos fornecedores devem garantir interfaces bem definidas em que diversos elementos de campo e suas funcionalidades possam operar de forma global, garantindo um correto funcionamento do sistema ou processo a ser controlado (INTECH, 2011).

Com isso, apresenta-se uma necessidade da utilização de mecanismos de padronização que visam facilitar a integração de componentes e subsistemas, a fim de beneficiar fornecedores, desenvolvedores e usuários do sistema em questão. A partir dessa necessidade de integração, surge o conceito e a utilização de redes industriais, que tem como objetivos principais: fornecer diagnósticos rápidos e detalhados; facilitar a manutenção; utilizar menor quantidade de fios; configurar dispositivos com maior rapidez; aumentar eficiência, qualidade e segurança no sistema produtivo (INTECH, 2011).

Na figura 7, é apresentada, de forma geral, uma comparação entre a arquitetura das redes industriais durante o tempo.

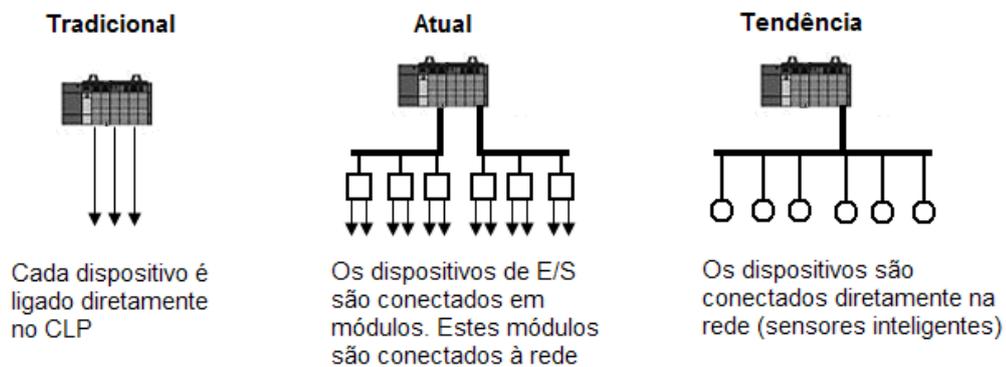


Figura 7 - Redes Industriais: Arquitetura das redes
Fonte: MONTEBELER, 2015.

As redes industriais podem ser divididas hierarquicamente em três formas (MONTEBELER, 2015):

- **Nível de Campo:** rede de dispositivos de campo, que garantem a conectividade entre os diversos dispositivos atuantes no chão de fábrica com os níveis superiores (sistemas de controle ou gerenciamento);

- Nível de Controle: interligar os sistemas industriais de controle como CLPs ou computadores;
- Nível de Gerência: troca de dados entre equipamentos e o sistema administrativo. Representa o nível mais elevado dentro da arquitetura.

Estes níveis encontram-se subdivididos e expostos de forma ilustrativa na figura 8:

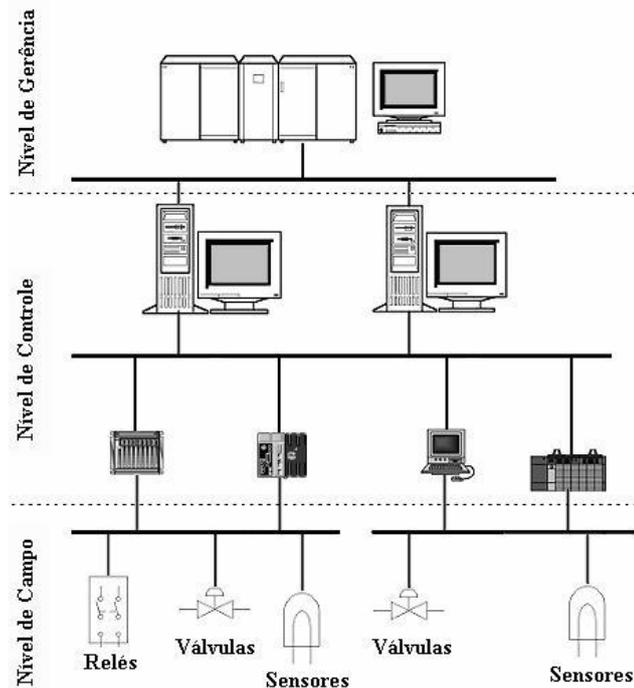


Figura 8: Redes Industriais: Níveis
Fonte: MONTEBELER, 2015.

Dentro das redes industriais existe o conceito de protocolos, que seriam, de forma geral, os responsáveis pelo “transporte” dos dados entre os níveis de um sistema. Nas redes industriais podem-se encontrar vários exemplos como: Devicebus, Sensorbus, Fieldbus, Databus. Cada um desses protocolos tem suas características e particularidades e a escolha por um determinado tipo é feita de acordo com a necessidade do “lugar” onde este protocolo irá atuar, esses passam a ser detalhados a seguir (INTECH, 2011):

- Sensorbus: rede utilizada para ligar sensores e atuadores. Apresenta transferência rápida e baixo custo. Como exemplos têm-se a AS-I e CAN.
- Devicebus: rede utilizada para conectar dispositivos mais genéricos como CLPs. Apresenta transferência rápida e distância máxima de conexão de 500 metros. DeviceNet, Profibus DP e ModbusPlus são exemplos de protocolos.

- Fieldbus: rede de equipamentos que desempenham funções específicas de controle. Apresenta transferência mais lenta e opera com vários tipos de dados, além de distância de comunicação de até 10 km. Exemplos dessa rede tem-se HART, Profibus FMS, Fieldbus Foundation
- Databus: rede de comunicação que conecta os sistemas de supervisão aos sistemas informáticos de gestão. Apresenta grande volume de dados e transferência lenta. A Ethernet é o principal exemplo.

3 PROJETO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE UMA PCH

A configuração tradicional dos sistemas de controle e supervisão em usinas hidrelétricas apresenta equipamentos dedicados e associados a cada um dos dois principais subsistemas: subsistema de controle da casa de força e subestação e subsistema de controle da barragem ou reservatório (BOZZETTO; BIANCHI, 2008).

Tradicionalmente estes passos são desempenhados e monitorados por equipamentos dedicados, fornecidos por diversas empresas. Recentemente, esta tendência está mudando, e um sistema integrado vem sendo mais utilizado com o intuito de diminuir grandes esforços no processo de integração (BOZZETTO; BIANCHI, 2008).

O estudo desenvolvido neste trabalho se baseia nos principais conceitos desenvolvidos pelas empresas de automação, exemplificando um controle e uma supervisão simples e didáticos através de conceitos de lógica e do uso de um sistema de supervisão. De maneira geral, os dois subsistemas se interagem com o intuito de seguir o seguinte processo:

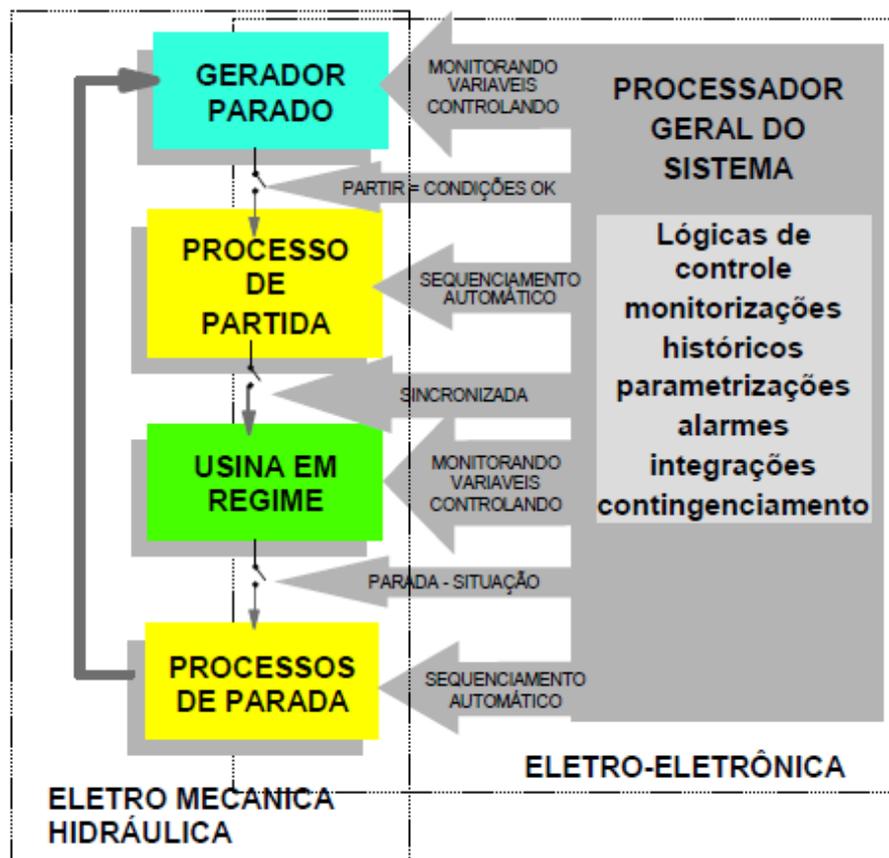


Figura 9: Automação – Passos
Fonte: BOZZETTO; BIANCHI (2008)

Com isso, a divisão do estudo será feita por meio das seguintes funções:

- Controlador de turbina (regulador de velocidade);
- Controlador do gerador (regulador de tensão);
- Comando e controle (Automação, Partida, Parada e Subestação);
- Proteção.

É importante salientar que o objetivo deste tópico é mostrar, de uma maneira geral e genérica, os principais componentes e conceitos baseados na automação das pequenas centrais hidrelétricas, visto que o intuito do trabalho é guiar para futuros trabalhos de automação e modernização de PCHs.

3.1 Regulador de Velocidade

O regulador de velocidade é um sistema automático que interage com o distribuidor da turbina hidráulica de forma a manter uma rotação constante, fornecendo ao sistema energia elétrica com frequência de 60 Hz (MANCINI FILHO, 2004).

Para o melhor entendimento do regulador em questão, é necessário entender como as turbinas hidráulicas funcionam.

As turbinas convertem energia potencial hidráulica em energia cinética. A partir da construção de uma barragem, é possibilitada uma diferença de níveis de água, em que se pode obter a energia hidráulica. Essa conversão de energia consiste em proporcionar um movimento rotativo ao rotor da turbina, que está mecanicamente acoplado ao eixo do rotor do gerador elétrico (SITE 2, 2015). Elas podem ser classificadas em dois tipos:

- Turbinas de reação: turbinas que transformam a energia cinética e de pressão da água em escoamento em energia mecânica, por meio do rotor. Podem ser de pás ajustáveis (Turbinas Kaplan) ou pás fixas (Turbinas Francis).
- Turbinas de ação: turbinas em que a energia mecânica é obtida pela transformação da energia cinética do fluxo d'água, através do rotor. São instaladas em regiões onde apresentam maiores quedas em relação as turbinas de reação. Seu rotor apresenta pás em formato de uma concha, e o jato de água é proveniente dos bicos injetores (Turbinas Pelton).

A figura 10 mostra um esquema geral das turbinas Francis, uma das mais utilizadas em Pequenas Centrais Hidrelétricas:

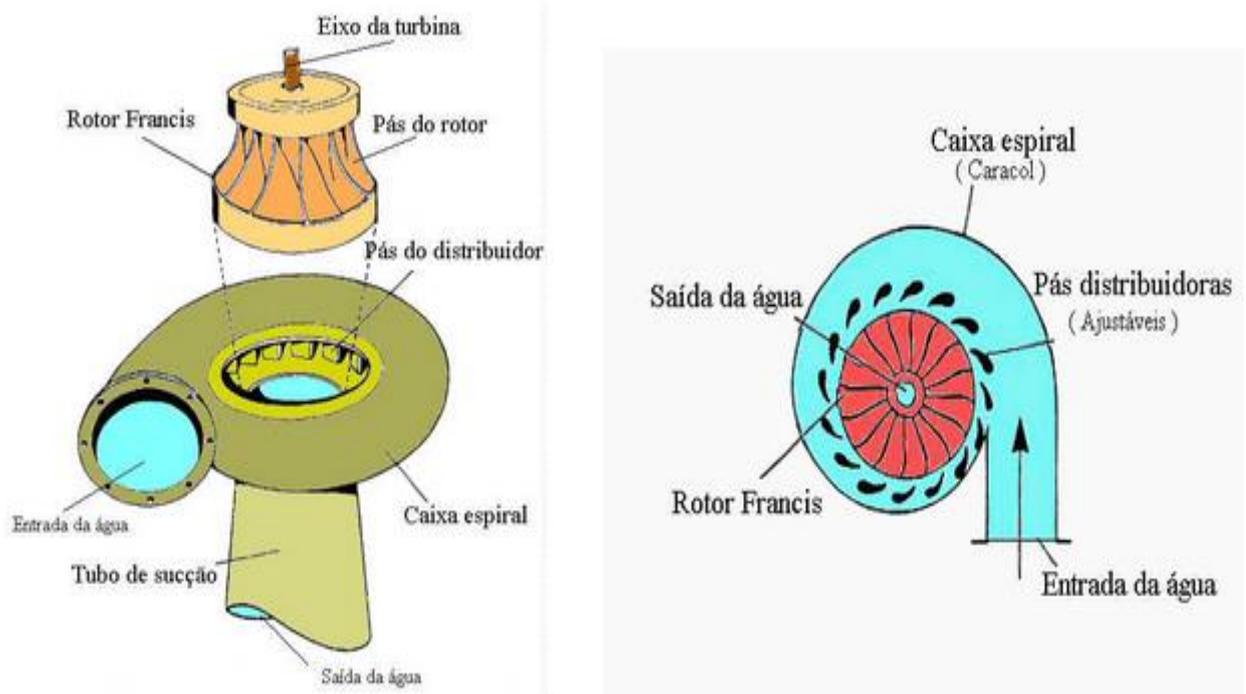


Figura 10: Turbinas Francis
Fonte: MELLO, 2000.

Por operar entre quedas de 10 a 650 metros em uma potência máxima de 750 MW, a turbina Francis é uma das mais utilizadas em Pequenas Centrais Hidrelétricas. Em operação, a água entra no rotor pela periferia, após passar através das pás diretrizes as quais guiam o líquido em um ângulo adequado para a entrada das pás do rotor, deixando o mesmo axialmente em relação ao eixo (MELLO, 2000).

O controle sobre a turbina é exercido sob as pás diretrizes, também chamadas de distribuidoras, e as mesmas são comandadas pelo conjunto regulador que ajustam a vazão à carga da turbina. A posição que o distribuidor se encontra pode fazer com que a água tenha uma velocidade tangencial ao passar pelo rotor da turbina. Nesta posição, que corresponde normalmente de 80% a 90% da abertura total, o rotor irá operar com sua máxima eficiência. Estando o distribuidor em qualquer outra posição, uma parte da energia é perdida devido à angulação pouco eficiente do fluxo de água (COSTA, 2003).

3.1.1 Circuitos construtivos do Regulador de Velocidade

O regulador de velocidade é basicamente dividido em três circuitos (SANTIAGO; BECKER; KERN, 2004):

A – Circuito Hidráulico

As principais funções atribuídas ao circuito hidráulico são referentes ao gerenciamento da manutenção do óleo e controle do movimento das válvulas diretrizes. A primeira diz respeito ao sistema de bombeamento que é responsável pelo fornecimento e manutenção do óleo pressurizado utilizado em todas as operações do regulador de velocidade. A figura 11 mostra um esquema simplificado do funcionamento deste circuito, seguido de uma explicação de cada componente (SANTIAGO; BECKER; KERN, 2004).

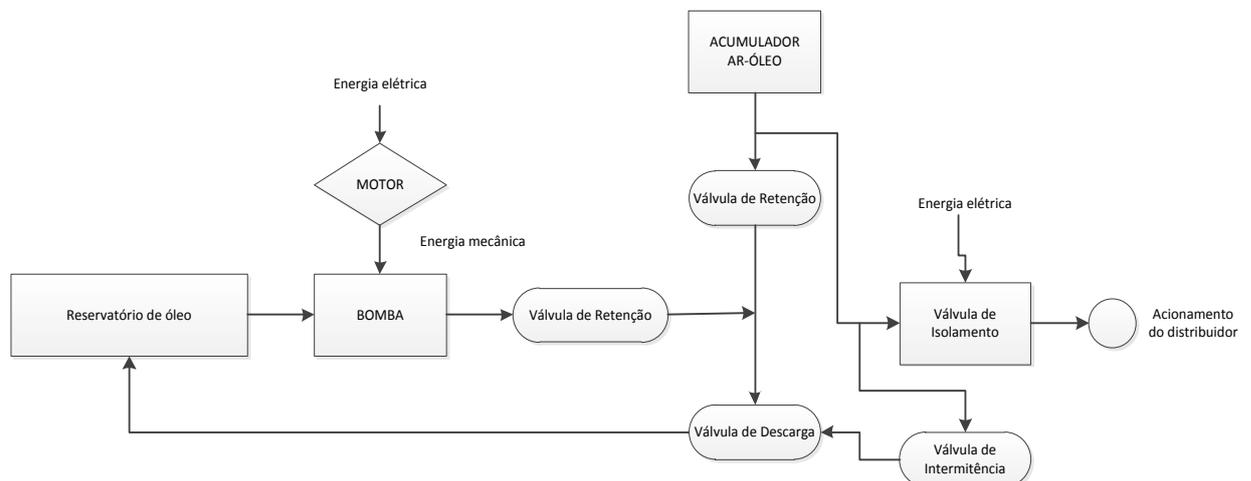


Figura 11 – Esquema do sistema de bombeamento
Fonte: SANTIAGO; BECKER; KERN (2004).

Partindo do reservatório (local no qual o óleo do sistema é acumulado) as bombas têm como função fornecer pressão e vazão para o comando da movimentação do distribuidor na qual são acionadas, através dos motores elétricos. As válvulas presentes no sistema servem como auxílio e como equipamentos de manobra e segurança; por exemplo, a válvula de retenção evita o retorno do óleo do acumulador quando as bombas estão paradas e as de descarga garantem a segurança do sistema em caso de excesso de pressão. Já as válvulas de intermitência, mantém a pressão definida no acumulador, e este, por sua vez, armazena óleo e ar sob pressão, os quais são utilizados para comandar o distribuidor em casos de queda de energia. Por último, têm-se as válvulas de isolamento, que, por meio de um comando elétrico,

são acionadas para o isolamento do circuito hidráulico do acionamento do distribuidor, caso a turbina esteja aparada (SANTIAGO; BECKER; KERN, 2004).

Para a segunda função do sistema hidráulico, temos um sistema de regulação que é responsável pela movimentação do distribuidor sendo realizada a partir do envio de óleo pressurizado proveniente do sistema de bombeamento. (SANTIAGO; BECKER; KERN, 2004).

A figura 12 exibe a interação de maneira simplificada entre os componentes deste sistema, seguido de uma explicação de cada equipamento (SANTIAGO; BECKER; KERN, 2004).

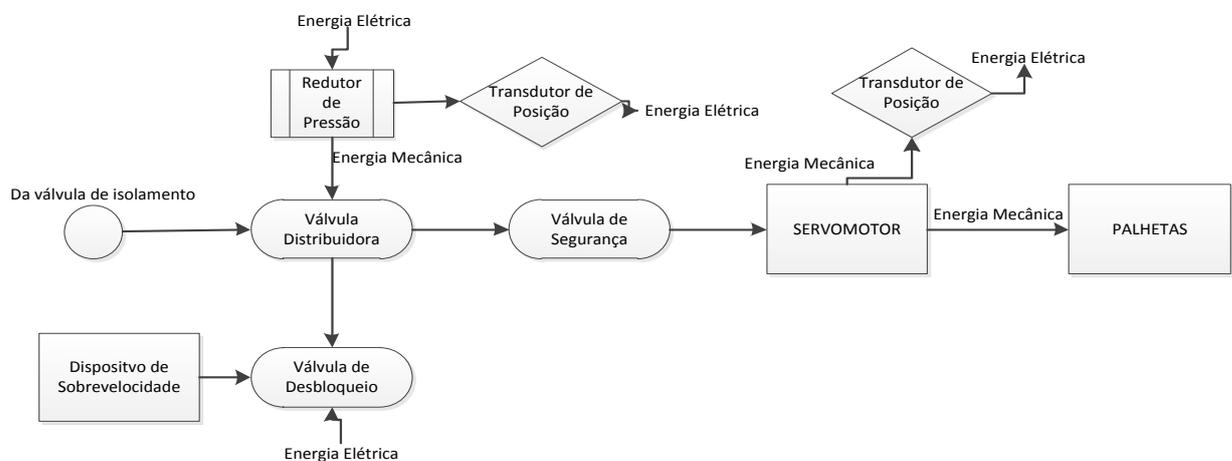


Figura 12 – Esquema do sistema de regulação
Fonte: SANTIAGO; BECKER; KERN (2004).

Para acionar o distribuidor é utilizada a válvula distribuidora, a qual auxilia na regulação das pás diretrizes provenientes da abertura (ou fechamento) dos servomotores, os quais propiciam movimentos para as palhetas por meio do aro de regulação. Existem alguns dispositivos que garantem a segurança do sistema, como por exemplo, as válvulas de segurança e bloqueio; o dispositivo de sobrevelocidade e o redutor de pressão. As válvulas de segurança são responsáveis pelo fechamento imediato do distribuidor, sem que ocorra o acionamento da válvula distribuidora. Já as válvulas de bloqueio impedem que as travas hidráulicas, conectadas a válvula distribuidora, sejam acionadas. O dispositivo de sobrevelocidade interfere na válvula de emergência quando a máquina atinge uma rotação fora do especificado. Por fim, existe o redutor de pressão, que minimiza a pressão disponível ao atuador da válvula distribuidora. Além desses, ainda existe um sensor que garante a segurança do sistema, chamado de transdutor de posição, o qual é utilizado para informar e garantir a

estabilidade, permitindo também o uso do estatismo (distribuição equitativa da carga entre unidades geradoras).

B – Circuito Elétrico

Para estes circuitos são atribuídos as seguintes funcionalidades: circuito de força de alimentação dos motores e circuito de comando dos motores, e das principais válvulas do circuito hidráulico. De modo geral, a parte elétrica é responsável pela supervisão e controle das variáveis envolvidas no processo hidráulico, além do fornecimento de energia elétrica para os motores. Dentre as variáveis envolvidas no sistema, pode-se citar (SANTIAGO; BECKER; KERN, 2004):

- Nível de óleo do acumulador;
- Posição da válvula de isolamento;
- Pressão de óleo no regulador;
- Acionamento das bombas.

C - Circuito Eletrônico

A principal atribuição vinculada a este circuito é de enviar um sinal eletrônico para o atuador da válvula distribuidora sobre a necessidade de abertura ou fechamento das mesmas, acionando assim as palhetas diretrizes da turbina. Entre os principais dispositivos eletrônicos, enumera-se (KONDO, 2001):

- Controlador Lógico Programável (CLP);
- Sistema Supervisório (Interface Homem-máquina);
- Fonte de alimentação;
- Transdutores;
- Relés;
- Disjuntores;
- Dispositivo de seleção do tipo de controle;

- Dispositivo de ajuste dos valores de referência (potência, frequência, abertura do distribuidor e rotação da turbina);
- Interface de comunicação serial.

Na figura 13, é exibido um esquema geral sobre a lógica para o circuito eletrônico. O princípio de funcionamento do circuito presente na figura se baseia na ideia de supervisão e comparação das variáveis do processo - potência, frequência e abertura do distribuidor - com o valor de referência (*set point*) já parametrizado anteriormente. Com isso, é realizado um controle com o objetivo de aproximar os valores.

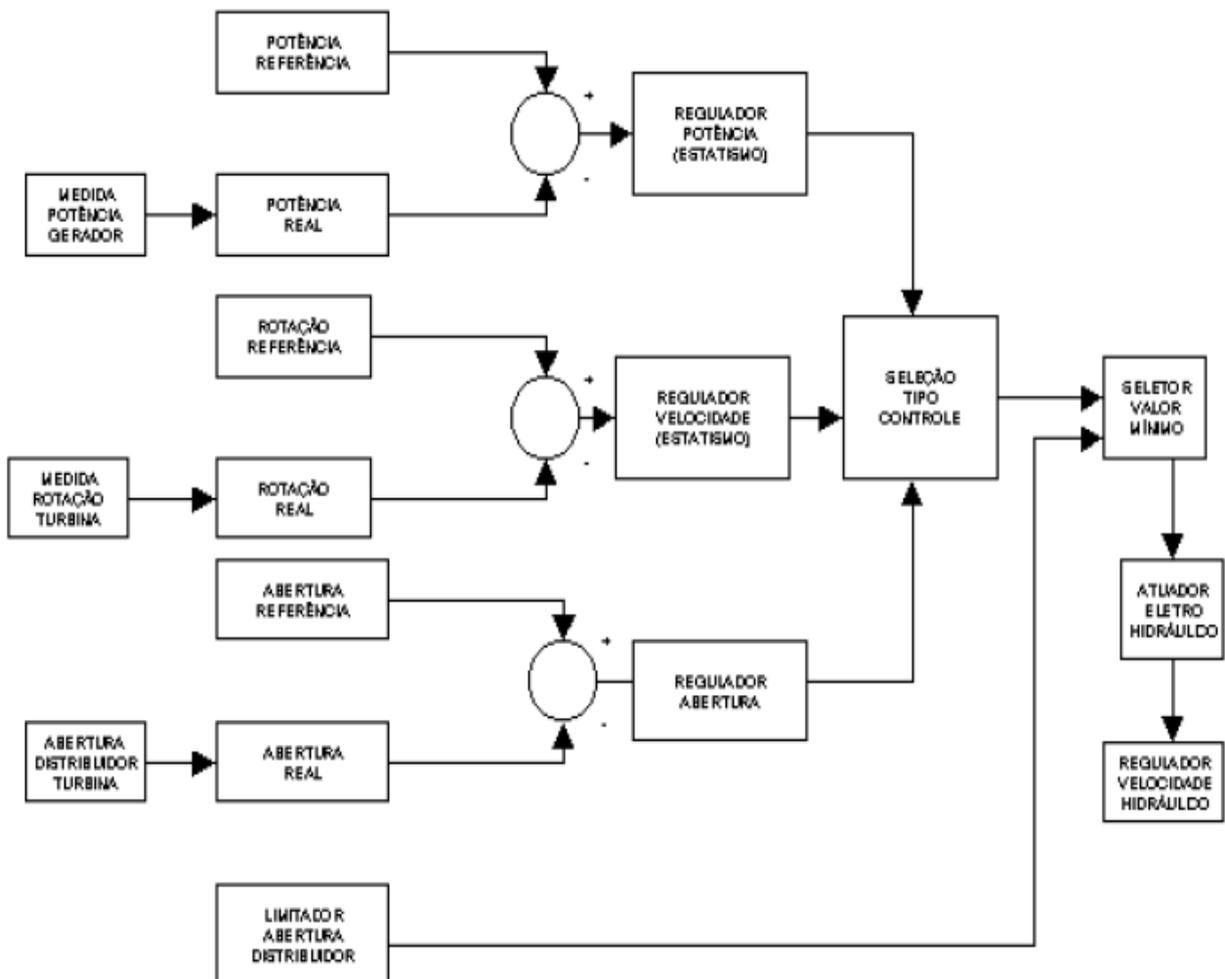


Figura 13: Diagrama de blocos do circuito eletrônico
Fonte: MONTEBELLER, 2015.

3.2 Regulador de Tensão

Os geradores elétricos para centrais hidrelétricas, ou hidrogeradores, em princípio, podem ser síncronos ou assíncronos (indução). Os geradores síncronos, de maior aceitação e historicamente mais utilizados, são máquinas elétricas que trabalham com velocidade constante e igual à velocidade síncrona, que é uma função da frequência da tensão gerada e do número de pares de polos do rotor do gerador. No Brasil, a energia nas redes públicas de transmissão e distribuição, é de corrente alternada, trifásica, de 60 Hz. Por isso, serão considerados apenas geradores trifásicos de 60 Hz. Fisicamente o gerador é composto de uma parte fixa, o estator, e de uma parte rotativa, o rotor. Seu rotor é magnetizado por uma fonte CC (excitatriz) e é levado a girar por um acionador mecânico externo (LIMA, 2002).

Os reguladores de tensão possuem a função de manter a tensão da armadura em seu valor ajustado, atuando sobre a corrente de excitação do grupo gerador síncrono. Eles são elementos fundamentais no controle da potência reativa gerada, principalmente quando se deseja obter uma repartição apropriada da potência entre grupos geradores, conectadas a um mesmo barramento por meio da alteração do ponto de regulação, ou para controlar a tensão em um ponto distante dos terminais do grupo gerador (BOZZETTO; BIANCHI, 2008).

Há limites operativos que são função da corrente de excitação, tais como o limite de aquecimento dos enrolamentos do rotor, limites de sobre excitação, de modo que os reguladores de tensão preveem esquemas especiais de compensação e limitação da corrente de campo (LIMA, 2002).

A função do sistema de excitação é estabelecer a tensão interna do gerador síncrono. Em consequência, o sistema de excitação é responsável não somente pela tensão de saída da máquina, mas também pelo fator de potência. O Regulador de Tensão controla a saída da excitatriz tal que a tensão gerada e a potência reativa variem da maneira desejada. O sistema regula a tensão de saída do gerador através da atuação na ponte de tiristores da excitatriz. O sistema permite a parametrização do nível de tensão desejado, e a atuação do regulador de tensão visa obter esta tensão na saída do gerador. Ao partir o gerador, o sistema está isolado, ou seja, não está conectado a nenhum outro sistema de geração. Esta situação é definida como

sistema isolado, ou barramorta. O regulador de tensão só começa a atuar após a turbina atingir velocidade de rotação correspondente a 80% da velocidade nominal (LIMA, 2002).

O sistema de excitação é de fundamental importância para prover a alimentação em corrente contínua ao enrolamento de campo do gerador síncrono. A ele também são atribuídos os controles da tensão e da potência reativa gerada, além da manutenção da estabilidade em regime transitório, assim como fornecer condições favoráveis para a atuação da proteção (LIMA, 2002).

Uma característica que pode ser incorporada aos reguladores de tensão, principalmente aos de pequeno porte que operam em paralelo com um grande sistema, é o controle do fator de potência ao invés dos níveis de tensão. Nestes casos, como a tensão é controlada pelo sistema, esta característica é desejável, garantindo sempre uma quantidade de potência proporcional à potência ativa gerada (BOZZETTO; BIANCHI, 2008).

3.3 Comando e Controle

A partir do conceito apresentado sobre os passos da automação geral de uma PCH, é seguida uma lógica de como a interpretação das variáveis medidas influenciam no comando de um determinado equipamento, com o intuito de fazer o controle do funcionamento. De modo geral, os comandos efetuados pelo processador geral do sistema partem de uma interpretação de condições pré-definidas, e se estas satisfazem os requisitos do sistema, então estão de acordo para o avanço do comando (LIMA, 2002).

Da mesma maneira, como citado na referência anterior, é necessário realizar um controle e supervisão das condições para que o estado de usina em regime permaneça dentro das parametrizações de sincronismo quando interligado a um sistema elétrico.

3.3.1 Comando

O funcionamento de uma PCH apresenta vários momentos em que a lógica de comando deve ser aplicada seguindo critérios projetados, levando em consideração a regulação principalmente da velocidade da turbina e pela excitação de campo do gerador de modo a

fornecer uma tensão constante em sua saída e reagindo às alterações no sistema (SOUSA, 2002).

Este subsistema de comando leva em conta para as suas ações, os estados em que o sistema turbina-gerador se encontra, tais como: partida da unidade geradora e parada da unidade geradora. Além das situações de sincronização, condições de regime e procedimentos para situações contingenciais. Estes serão abordados na parte de controle (SOUSA, 2002).

A – Partida da unidade Geradora.

Segundo Mancini Filho (2004), com o estado inicial de “gerador parado”, a partir das condições que são estudadas e verificadas se possíveis para uma partida, o primeiro comando a partir desse estado é a abertura do distribuidor por ação do regulador de velocidade, levando a unidade geradora da rotação nula até a rotação nominal. Entre as principais condições de análise para a partida, tem-se:

- Verificação de defeitos (temperatura) e estado no sistema hidráulico (bombas, tanques do regulador, nível de óleo), sistema elétrico (disjuntores, relés) e sistema eletrônico (fontes de alimentação) do regulador de velocidade;
- Condição das válvulas que monitoram a automação das vazões afluentes.

Quando o regulador de velocidade recebe a ordem de “PARTIR”, este envia um sinal de controle para a válvula proporcional de acionamento da válvula distribuidora. Esta provoca a abertura do distribuidor da turbina, aumentando a velocidade do mesmo. Quando a velocidade de 80% é alcançada, o comando passa para a posição de marcha em vazio, que leva a velocidade próxima ao valor síncrono. Após a velocidade estar próxima do valor síncrono, o regulador de velocidade utiliza uma ação P.I.D. (controle proporcional integral derivativo) que controla a velocidade mantendo-a exatamente na rotação síncrona (MANCINI FILHO, 2004).

A sincronização executada produz a informação de que o disjuntor do gerador foi fechado, o que permite ao regulador de velocidade comutar seus parâmetros para operação interligada com o Sistema Elétrico, finalizando o processo de partida da máquina.

B – Parada da unidade Geradora

A parada da unidade geradora significa levar a máquina desde a rotação que ela se encontra até a rotação nula. A partir da ordem de parada, o regulador de velocidade atua na válvula proporcional de acionamento do distribuidor da turbina, fechando-o com velocidade ajustável até a posição de vazio. Após o distribuidor se encontrar na posição de marcha em vazio, uma ordem é enviada com um sinal de abertura do disjuntor da rede (disjuntor do gerador). Em seguida, o distribuidor fecha com sua máxima velocidade até a sua posição totalmente fechado (MANCINI FILHO, 2004).

Em casos de atuações de proteções e alertas, do tipo elétrico (curto-circuito no gerador) ou hidráulico (sobrevelocidade), o regulador atua hidraulicamente provocando o fechamento total do distribuidor. Nestes casos, a ordem de abertura para o disjuntor do gerador é imediata, provocando o evento de rejeição de carga ativa, em casos da potência ativa fornecida pelo gerador estiver presente (MANCINI FILHO, 2004).

3.3.2 Controle

Na automação, tanto a parada quanto a partida para a sincronização das máquinas são realizadas automaticamente por comandos de controle que indicam se determinado processo pode ser realizado. Com isso, cabe ao sistema manter o controle das operações com o sistema em regime permanente (POSCH, 2006).

Além disto, em sistemas totalmente automáticos, é possível a realização da otimização da geração considerando as vazões afluentes. Esta otimização pode ser feita pelo sistema de controle do reservatório, cujo objetivo é manter o nível do reservatório na faixa normal ou de equilíbrio, controlando o mesmo através do aumento ou diminuição da geração das máquinas.

Pode-se citar também o importante papel das subestações nesta fase de controle. As mesmas possuem um conjunto de equipamentos que são responsáveis por elevar, distribuir e proteger a energia elétrica proveniente do conjunto turbina-gerador.

A – Operação em regime permanente

A partir do comando de sincronismo, é possível identificar quando o sistema passa a ter operação em regime permanente. O sincronismo tem o objetivo de efetuar a conexão do gerador à linha viva. Para tanto, é necessário obter, na saída do gerador, a mesma tensão e frequência da linha viva. A tensão da linha viva é medida, e utilizada como referência para o controlador de tensão. A frequência de referência para o regulador de velocidade está fixa em 60Hz. Quando são atingidas e estabilizadas estas condições, é efetuado o comando de sincronismo, atuando em um disjuntor que conectará o gerador à linha (BOZZETTO; BIANCHI, 2008).

A operação em regime permanente de um gerador síncrono consiste em se controlar o valor eficaz e a frequência da tensão gerada quando fora de sincronismo e no despacho das potências ativa e reativa quando interligado a um sistema elétrico (LIMA, 2002).

Quando a operação é fora de sincronismo, ou isolada, a frequência da tensão gerada irá depender fundamentalmente da velocidade de rotação imposta pela turbina. O valor eficaz da tensão, no entanto, é uma função direta da corrente de excitação. Ambas, rotação e excitação, podem ser controladas pelo regulador de velocidade e regulador de tensão, respectivamente (LIMA, 2002).

Quando a máquina opera em paralelo com um sistema elétrico, a frequência e o valor eficaz da tensão passam a ser definidos pelo próprio sistema. Neste caso, os reguladores de velocidade e de tensão deixam de exercer as suas finalidades originais para controlar, respectivamente, os níveis de geração de potência ativa e potência reativa (LIMA, 2002).

O ajuste de potência ativa é o modo de controle normal quando a unidade está sincronizada com o sistema elétrico, isto é, estando o disjuntor do gerador fechado. Enquanto o valor de potência ativa real estiver diferente da potência ativa de referência, o regulador atuará sobre o distribuidor da turbina com o intuito de diminuir o erro de potência ativa a zero (MANCINI FILHO, 2004).

B - Controle da frequência após rejeição de carga sem parada total

Quando ocorre uma rejeição de carga ativa, isto é, abertura do disjuntor do gerador quando o gerador está fornecendo potência ativa superior a zero, o regulador atua no controle automático da velocidade (frequência) mantendo a unidade em marcha em vazio. Após a rejeição de carga sem atuação de parada de emergência, a unidade geradora permanece na rotação nominal esperando um novo comando para sincronização ou parada total (MANCINI FILHO, 2004).

C – Sistema de Controle da Barragem ou Reservatório

Geralmente o sistema de controle do reservatório realiza a supervisão do nível do reservatório, as vazões vertida, afluyente e turbinada, além de programar a geração das máquinas e o vertimento pelas comportas da barragem, de forma a atender às restrições impostas pelos equipamentos (geração mínima por máquina) ou pela legislação (vazão sanitária). Em situações em que o nível do reservatório atinja limites de atenção, alerta ou emergência, o sistema de controle do reservatório pode acionar as comportas no sentido de reverter a cota para a faixa de operação normal. Essas variáveis podem ser informadas a um CLP localizado na casa de comando próxima à barragem, que será responsável pelo controle e acionamento ON/OFF da comporta (LIMA, 2002).

Utilizando-se um CLP, além das funções acima, ele estaria disponível para a realização de futuras aplicações nas imediações do reservatório, tais como o controle da limpeza da grade de proteção da comporta de superfície e o controle das comportas de superfície e de entrada de água dos condutos. Em situações de emergência, o sistema de automação deve prover o fornecimento ininterrupto de energia, para o controle automático do nível do reservatório, garantindo a disponibilidade do sistema de controle, que deve estar operante sob quaisquer condições, uma vez que as consequências de um mau funcionamento podem causar sérios danos. Da mesma maneira, o software do CLP da barragem deve ser autossuficiente, tendo condições plenas de manter o controle em funcionamento, no caso de qualquer problema com os outros componentes do sistema ou seus sistemas de comunicação (POSCH, 2006).

D – Subestação

Uma subestação (SE) pode ser definida como um conjunto de equipamentos de manobra e/ou transformação e ainda eventualmente de compensação de reativos usado para dirigir o fluxo de energia em sistema de potência e possibilitar a sua diversificação através de rotas

alternativas, possuindo dispositivos de proteção capazes de detectar os diferentes tipos de faltas que ocorrem no sistema e de isolar os trechos onde estas faltas correm (SITE 3, 2015).

Nas centrais hidrelétricas, as subestações cumprem importante função de ligar o gerador, por intermédio de seu transformador, caso exista, ao sistema de transmissão ou distribuição, dependendo de sua localização, finalidade e porte. Este objetivo é alcançado pela conveniente comutação ou manobra de disjuntores e chaves seccionadoras, energizando ou desligando os barramentos e linhas ou cargas conectadas. Além destes, outros componentes auxiliares garantem o cumprimento seguro desta tarefa, tais como, transformador de potência, transformador de corrente, relés, para-raios, malhas de terra, chaves de aterramento, entre outros (SITE 3, 2015).

As subestações para pequenas centrais hidrelétricas podem ser instaladas dentro da casa de força ou ao tempo livre. Deve-se dar preferência à subestação do tipo conjunto de manobra e controle blindado, sempre que possível, que proporciona melhores condições de segurança pessoal contra riscos de acidentes e maior rapidez na fase de instalação do equipamento na usina (ELETROBRÁS, 2000).

Para a proteção das linhas, são utilizados basicamente dois tipos de sistema de proteção: proteção por relés de sobrecorrente e proteção de relés de distância. Quando a usina opera em sistema isolado, a utilização de relés de sobrecorrente com características de tempo inverso associado a relés de sobrecorrente instantâneos é uma solução economicamente interessante. Quando a usina opera interligada a um sistema elétrico, deve ser utilizado um sistema de proteção compatível com o sistema existente no ponto de interligação (ELETROBRÁS, 2000).

Normalmente o controle realizado em subestações de pequenas centrais hidrelétricas se baseia nas seguintes informações (JARDINI, 1996):

- a) Posição chave seccionadora do gerador;
- b) Posição do disjuntor do gerador;
- c) Tensão alternada auxiliar;
- d) Energia elétrica gerada;
- e) Sinais dos dispositivos de proteção elétrica.

3.4 Sistemas de Proteção

A escolha de um sistema de proteção para os equipamentos elétricos constituintes de uma PCH envolve aspectos operacionais, econômicos, de segurança física e pessoal, que devem ser analisados caso a caso. De um modo geral, o sistema de proteção desempenha um papel fundamental na detecção e isolamento de faltas, visando a operação normalizada, prevenção contra falhas e limitação de defeitos resultantes das falhas. É composto de painéis onde estão alocados relés de proteção, relés auxiliares, fontes e cabeamento que associados determinam o esquema de desligamento das unidades geradoras (ELETROBRÁS, 2000).

Um dos fatores mais importantes a ser analisado na definição do grau de proteção desejado é a forma como a usina será operada, se assistida por operadores ou automaticamente. Nas usinas assistidas por operadores, quando em algumas condições anormais de operação, um alarme é acionado, permitindo que o operador decida se conserva a máquina em operação ou não. No caso de usinas automáticas ou semiautomáticas a inexistência de operadores torna necessário prover desligamento para a maioria das condições anormais de operação que impliquem em risco para a integridade da máquina, como por exemplo em casos de sobrecarga (ELETROBRÁS, 2000).

Normalmente, esse sistema abrange o gerador, transformador elevador, transformador de serviço auxiliar e transformador do sistema de excitação.

3.4.1 Proteções indicadas para o Gerador Elétrico

Segue abaixo alguma das principais funções disponíveis nos relés de proteção digital para geradores (LIMA, 2002):

- Proteção contra sobrevelocidade;
- Relé de Impedância;
- Proteção contra sobre excitação;
- Relé de Sincronismo;
- Proteção contra sobtensões;
- Proteção contra potência reversa;

- Sobretemperatura dos mancais;
- Proteção contra perda de excitação;
- Proteção contra carga desequilibrada;
- Proteção contra sobrecarga;
- Proteção de sobrecorrente instantânea;
- Detecção de falha do disjuntor;
- Proteção de sobrecorrente temporizada;
- Proteção contra sobre e subfrequência.

3.4.2 Proteções indicadas para o transformador

A proteção dos transformadores, como ocorre também para diversos outros equipamentos elétricos, utiliza um conjunto típico de relés de proteção, que operam segundo vários esquemas. Tais esquemas dependem da sensibilidade, velocidade e problemas de coordenação entre os vários outros grupos de relés instalados em suas imediações físicas e elétricas, as quais estão rigidamente atreladas às condições de seletividade impostas (LIMA, 2002).

Em geral, os transformadores não costumam apresentar elevados índices de falhas, porém, quando estas surgem, inevitavelmente levam a desligamentos, forçados ou não, implicando em substituições, paralisações, manobras, riscos e manutenções corretivas. A fim de evitar tais implicações, existem umas séries de recomendações operacionais a que o transformador está submetido, associado a um conjunto de relés de proteção (LIMA, 2002).

3.4.3 Para-raios

Os para-raios tem como finalidade proteger os equipamentos elétricos contra sobre tensões transitórias elevadas, limitando sua duração, bem como limitar as correntes subsequentes das sobre tensões. Os para-raios são sensíveis a sobre tensões acima de sua tensão nominal (a 60 Hz). Para proceder à especificação de materiais e equipamentos, é necessário conhecer os dados elétricos em cada ponto da instalação, bem como as características do sistema (FILHO, 1997).

3.4.4 Check Sincronismo

Este relé tem a função de impedir que o relé de sincronismo interligue a unidade geradora ao sistema, sem que a tensão do gerador esteja sincronizada com a tensão da rede. Esta função recebe informação de tensão da unidade geradora e da barra, e atua no disjuntor impedindo seu fechamento (ALMEIDA, 2002).

3.4.5 Proteção do serviço auxiliar

- Sobrecorrente: É sensibilizada para faltas no trafo e no circuito do serviço auxiliar. O objetivo desta função é desligar e parar a máquina quando houver faltas no serviço auxiliar em que seu sistema de proteção não consiga extinguir. Ou seja, ela é uma retaguarda da proteção do serviço auxiliar que desliga o gerador principal. Logo, deve ser cuidadosamente coordenada para que a unidade geradora não saia de serviço indevidamente (ALMEIDA, 2002).
- Sobrecorrente de neutro: É sensibilizada para faltas à terra no secundário do trafo do serviço auxiliar e em seu circuito. Seu objetivo é o mesmo da função acima, desligar e parar a máquina quando a proteção do serviço auxiliar não extinguir a falta. E da mesma forma, deve ser cuidadosamente coordenada para não desligar a máquina indevidamente (ALMEIDA, 2002).

4 VARIÁVEIS CONTROLADAS E SISTEMA DE SUPERVISÃO EM UMA PCH

O processo de automatizar implica na utilização de instrumentação de campo, interligado a equipamentos eletrônicos para atender as funções de indicação, controle e proteção da usina. A solução deste processo para uma PCH deve ser orientada no sentido de simplicidade, levando em conta o porte do empreendimento e a peculiaridade dos equipamentos a serem instalados (LIMA, 2002).

Dentre os requisitos mínimos que caracterizam as funções de um sistema de monitoramento (automação), pode-se destacar: comando, alarme, controle de vertedouros, controle de tensão/potência ativa e reativa, parada automática, partida automática, sincronização, registro de sequência de eventos, sinalização e medição, transmissão de dados, auto diagnose, proteções e relatórios (LIMA, 2002).

De acordo com os objetivos propostos neste trabalho e partindo dos conceitos até agora apresentados, demonstra-se, a seguir, de maneira simples e genérica, os principais instrumentos utilizados na automação de uma PCH, responsáveis por medir e enviar os dados coletados até a central de controle. Além disso, demonstram-se também como estes dados devem ser controlados tratados pelo CLP e visualizados em telas de supervisórios.

4.1 Instrumentação e variáveis relacionadas

Para o desenvolvimento de um projeto de modernização/automação de uma PCH, faz-se necessário o levantamento das variáveis envolvidas no processo e respectivos instrumentos de medição, a fim de que sejam controladas/monitoradas as principais informações da PCH. A seguir, para cada setor de uma PCH, são listados as principais variáveis e instrumentos de medição.

4.1.1 Barragem

- Medição de nível do reservatório: pode ser efetuado por uma régua graduada com verificação realizada por uma câmera móvel.
- Medição da posição da comporta do vertedouro: utilização de um encoder absoluto analógico.
- Pressão do óleo de acionamento da comporta: transmissor de pressão diferencial.

4.1.2 Tomada D'água

- Medição de posição da comporta: utilização de um encoder absoluto analógico.
- Medição de nível a montante e a jusante (canal de fuga) das grades: utilização de um medidor de nível acionado por boia e contrapeso.
- Pressão do óleo de acionamento da comporta: transmissor de pressão diferencial.

4.1.3 Casa de Força

- a) Válvula de isolamento da turbina: montada no final do conduto forçado. Válvula com função de isolamento, em que permite manutenções na turbina ou no distribuidor. A grandeza associada a esta válvula, de interesse ao sistema de controle, é a posição aberta ou fechada.
- b) Freio: em pequenas centrais hidrelétricas desassistidas é importante a existência de freio para garantir a parada da máquina, no caso de parada emergencial do gerador. Grandezas analisadas: posição do freio e pressão do ar de frenagem.
- c) Turbina:
 - Temperatura dos mancais: PT100;
 - Temperatura, nível e fluxo do óleo dos mancais: termopar, medidor de nível acionado por boia e contrapeso, transmissor de vazão;
 - Velocidade da turbina: tacômetro;
 - Posição do distribuidor: válvula de admissão de água na turbina;
 - Temperatura do óleo de acionamento do distribuidor: Termopar/PT100.
- d) Gerador: para a regulação da tensão e dos equipamentos interligados ao gerador.
 - Temperatura dos mancais: PT100;
 - Temperatura do enrolamento do estator: termopar
 - Potência ativa e reativa: analisador de energia/potencia;
 - Corrente de excitação do gerador: transmissor de corrente;

- Tensão nas fases do gerador: voltímetro TRUE RMS.

e) Sistema de resfriamento

- Temperatura e fluxo da água de refrigeração do óleo: PT100 e transmissor de vazão;
- Temperatura dos radiadores de resfriamento do gerador: termopar;
- Temperatura da água de resfriamento dos mancais: termopar;
- Vazão de água de resfriamento dos mancais e do gerador: transmissor de vazão;
- Vazão de água de resfriamento do óleo do regulador de velocidade: transdutor de vazão.

4.1.4 Subestação

- Posição da chave seccionadora do gerador: dois “fim de curso”;
- Posição do disjuntor do gerador: dois “fim de curso”;
- Tensão alternada auxiliar: voltímetro TRUE RMS;
- Energia elétrica gerada: analisador de energia;
- Sinais dos dispositivos de proteção elétrica

4.2 Sistema de Controle para uma PCH

O modelo de automação aplicado e implementado em usinas hidrelétricas se baseia em um Sistema Digital de Supervisão e Controle, composto por um CLP (entre as séries podem-se destacar ALTUS, Flexlogix ou Controllogix, por exemplo), que irá executar as lógicas programadas, comandará os elementos finais de controle e se comunicará com o software de supervisão. Além deste controlador, é importante ressaltar a presença de relés de proteção, dispositivos de comunicação através de redes e os reguladores de tensão e velocidade.

4.2.1 Redes de Comunicação

Em uma PCH digitalizada, os equipamentos estão se comunicando em tempo real e imediato através de protocolos de comunicação em redes, utilizando diversos equipamentos.

Um dos equipamentos básicos que interligam a rede é o switch, dispositivo que tem a função de interligar os computadores de uma rede local. Atualmente, existem switches ópticos, onde o meio físico da comunicação é feito diretamente por cabos de fibra óptica (DE MELLO, 2006).

As fibras ópticas são um dos meios de transmissão física mais usados na transmissão de ondas eletromagnéticas, em que portam informações ou sinais oriundas de diversos outros equipamentos, como por exemplo em uma comunicação entre um sensor de temperatura e o CLP (DE MELLO, 2006).

Para esta transmissão de dados, estes precisam ser organizados em um quadro de mensagens, uma padronização de protocolos, em outras palavras, um conjunto de regras que regulamentam as mensagens que contêm dados e informações de controle.

De modo geral, os principais protocolos utilizados na comunicação entre os diversos equipamentos no processo de automação de uma PCH são:

- Rede Ethernet: é utilizada para comunicar o CLP, as remotas (entrada remota da rede, mais blocos de entradas e saídas), e o Gateway ao Sistema Supervisório.
- Rede Modbus: é utilizada para comunicação entre o Gateway, Relés e Multimetrodores.
- Rede Devicenet: é utilizada para comunicação entre o CLP e suas respectivas remotas.

4.2.2 Linguagem de Programação do CLP

Entre as linguagens adotadas dentre as normas estabelecidas para os controladores programáveis, pode-se destacar: a Linguagem Ladder, Blocos de Função, texto estruturado, lista de instrução e a Linguagem Grafcet.

Mesmo tendo sido a primeira linguagem destinada especificamente à programação de CLPs, a linguagem Ladder mantém-se ainda como a mais utilizada, estando presente em praticamente todos os CLPs disponíveis no mercado (GEORGINI, 2000). Os motivos que fazem a

linguagem *ladder* ser uma das mais usada pela indústria, são: por apresentar grande facilidade de programação; por ser uma linguagem gráfica, baseada em desenhos e por fim, por se tratar de uma linguagem tradicionalmente conhecida em projetos de comando de quadros elétricos.

Segundo MORAES (2007), a linguagem *ladder* é uma linguagem gráfica de alto nível que se assemelha ao esquema elétrico de um circuito de comando ou diagrama de contatos. Nesta linguagem todos os tipos de instruções pertencem a dois grandes grupos: as instruções de entrada e as de saída. As instruções de entradas são responsáveis por formular questionamentos, os quais são tratados com respostas pelas instruções de saída, essas por sinal são ainda responsáveis por executar algum tipo de ação.

A CPU do controlador executa todas as funções descritas pelas linhas de comando de forma cíclica, ou seja, começando pela primeira passando por todas as intermediárias até a última linha, para então recomeçar o ciclo.

De acordo com GEORGINI (2000, p. 84):

Atualmente, os CLPs apresentam instruções sofisticadas. Além de simples contatos e bobinas, dispõem de contatos para detecção de borda de subida/descida (*one shot* – disparo), contatos de comparação, temporizadores, contadores, blocos de processamento (operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados), controle total de fluxo de execução do programa (loops *For/Next*, *Goto*, *Stop*, sub-rotinas), interrupções (por hardware e por software) e blocos para manipulação de mensagens (ASCII, rede).

4.2.3 Levantamento de pontos de entrada e saída do CLP

Um dos passos mais importantes dentro do processo de automação se refere a quais informações serão utilizadas pelo controlador e também quais serão os atuadores que o CLP irá controlar.

A partir do trabalho realizado por SILVA et al (2012), em que foi aplicado um método de programação de CLP para uma unidade geradora de uma pequena central hidrelétrica com capacidade de geração de 0,94 MVA, é possível destacar um exemplo de como são apresentados os pontos de entrada e saída, e a nomenclatura ligada a estes.

As tabelas a seguir demonstram apenas um exemplo da aplicação para cartões de entrada (Tabela 2) e saída (Tabela 3) em um processo de automação de PCH, visto que em cada aplicação pode-se ter diferentes informações controladas.

Tabela 2 – Pontos de entrada do CLP

Tabela 2 – PONTOS DE ENTRADA	
NOME	DESCRIÇÃO
52GF	Disjuntor de grupo fechado
41GF	Disjuntor de campo fechado
33DI	Distribuidor intempestivo
33DF	Distribuidor fechado
33NLP	Distribuidor NLP (partida)
33VBA	Válvula borboleta aberta
33VBF	Válvula borboleta fechada
33VBI	Válvula borboleta intempestivo
63NAS	Pressão normal ar serviço
38 ^a	Temperatura alta unidade
38T	Temperatura muito alta da unidade
86G	Rele de bloqueio do gerador
12E	Sobrevelocidade elétrica
12M	Sobrevelocidade mecânica
71BM	Nível baixo d'água montante
71AJ	Nível d'água alto jusante
71AQM	Nível alto óleo cuba bombas lubrificação mananciais
71BQM	Nível baixo óleo cuba bombas lubrificação mananciais
63BQRV	Pressão baixa óleo no regulador de velocidade
300G	Rele da proteção digital atuado
300GF	Rele da proteção digital falha
52GR	Disjuntor grupo em remoto
27SAG	Subtensão 220 VCA serviço auxiliar fonte gerador
SINCE	Sincronismo efetuado
71BQRV	Nível baixo óleo regulador de velocidade
71AQRV	Nível alto óleo regulador de velocidade
80NWTC	Fluxo normal água trocador calor mancais
52MC	Disjuntor grupo m ola carregada
25HGS	Sincronismo do grupo selecionado
SA27SAL	Subtensão 220 VCA Auxiliar fonte linha
39B	Turbina biela quebrada
33CR	Correia rompida regulador de velocidade
63NQBM	Pressão normal óleo bomba mecânica – regulador de velocidade
2724V	Subtensão de 24 VCC da fonte – CLP
33BPA	By-pass aberto
33BPF	By-pass fechado
40DC	Disparo capacitivo atuado disjuntor grupo
52BF	Falha disjuntor grupo
63NWCE	Pressão normal d'água caixa espiral
63NQBL	Pressão normal óleo bombas lubrificação dos mancais
80NQM	Fluxo normal óleo mancais
49B1LM	Térmico atuado na bomba 1 lubrificação mancais
27B1LM	Subtensão na bomba 1 lubrificação mancais
44B1LM	Bomba 1 lubrificação mancais ligada
49B2LM	Térmico atuado na bomba 2 lubrificação mancais
27B2LM	Subtensão na bomba 2 lubrificação mancais
44B2LM	Bomba 2 lubrificação dos mancais ligada
43E	Excitatriz em remoto
52GBQ	Disjuntor grupo bobina queimada
63NARF	Pressão normal ar frenagem
33FDP	Freios desaplicados
14NO	Rotação nula
63BG52	Pressão baixa gás disjuntor grupo
63MBG	Pressão muito baixa gás disjuntor grupo
63NBEL	Pressão normal óleo bomba elétrica regulador de velocidade
49BEL	Térmico atuado na bomba elétrica regulador de velocidade
27BEL	Subtensão 220 VCA bomba elétrica regulador de velocidade
44BEL	Bomba elétrica ligada – regulador de velocidade
43RL	Unidade na posição automática
71AWPG	Nível alto de água no poço gerador
33ATA	Atuador aberto

33ATF	Atuador fechado
33LMA	Limitador aberto
33LMF	Limitador fechado
71AWM	Nível alto d'água montante
71AWCA	Nível alto d'água canal adução
27L	Subtensão linha 34,5 kV
FTPGB	Falha dos TPs grupo ou barra 34,5 kV
71BWP	Nível baixo água porão
71BOT	Nível alto água porão
63AGT	Nível baixo de óleo transformador
63MAGT	Pressão alta óleo transformador
2752G1	Subtensão 125 VCC disjuntor grupo
49BCRV	Térmico atuado da bomba circulação óleo regulador de velocidade
27BCRV	Subtensão atuado da bomba circulação óleo regulador de velocidade

Fonte: SILVA et al, 2012

Tabela 3 – Pontos de saída do CLP

Tabela 3 – PONTOS DE SAIDA	
NOME	DESCRIÇÃO
44A96G	Atuar relé bloqueio gerador
44D86G	Reset relé bloqueio gerador
44APF	Aplicar freios
44DPF	Desaplicar freios
44AV	Aumentar tensão
44DV	Diminuir tensão
44AVC	Aumentar velocidade/carga
44DVC	Diminuir velocidade/carga
44DRET	Abrir disjuntor de campo (desliga excitatriz)
44LRET	Fechar disjuntor de campo (liga excitatriz)
44AVB	Abrir válvula borboleta
44FVB	Fechar válvula borboleta
44LBRV	Ligar bomba elétrica do regulador de velocidade
44DBRV	Desligar bomba elétrica do regulador de velocidade
44ALM	Abrir limitador
44FLM	Fechar limitador
44PE	Pré excitar campo
44ABP	Abrir by-pass
44FBP	Fechar by-pass
44LB1L	Ligar bomba 1 lubrificação mancais
44DB1L	Desligar bomba 1 lubrificação mancais
44LB2L	Ligar bomba 2 lubrificação mancais
44DB2L	Desligar bomba 2 lubrificação mancais
44LBCRV	Ligar bomba circulação de óleo do regulador de velocidade
44DBCRV	Desligar bomba circulação de óleo do regulador de velocidade
44A52G	Abrir disjuntor de grupo
44H25G	Habilitar sincronismo

Fonte: SILVA et al, 2012

4.3 Sistema de Supervisão para uma PCH

O controle e automação de uma Pequena Central Hidrelétrica são obtidos pela utilização de módulos de hardware, software, transdutores e sensores, de forma a se conseguir a automatização desejada. A integração desses equipamentos digitais é denominada de Sistema Digital de Supervisão e Controle, ou seja, sistema SDSC (GUIMARÃES, 2009).

O SDSC é o sistema SCADA de uma PCH e deve propiciar a operação segura, possibilitando ao operador monitorar e controlar a PCH através das estações de operação e engenharia na sala de controle (GUIMARÃES, 2009).

Este é o sistema responsável pelo que se pode chamar de gerenciamento da planta. Para tal, exerce, entre outras, as seguintes funções: “Captação” e tratamento das variáveis/sinais disponibilizados pela instrumentação e relés; estabelecimento de sequenciamentos e intertravamentos operacionais de toda a usina e seus auxiliares; estabelecimento de interface para monitoramento e controle local e, por fim, integração com os centros de operação.

De forma geral, a figura 14 ilustra esse chamado gerenciamento da planta, onde é possível ser visualizada a atuação do SDSC nos demais sistemas de uma usina hidrelétrica.

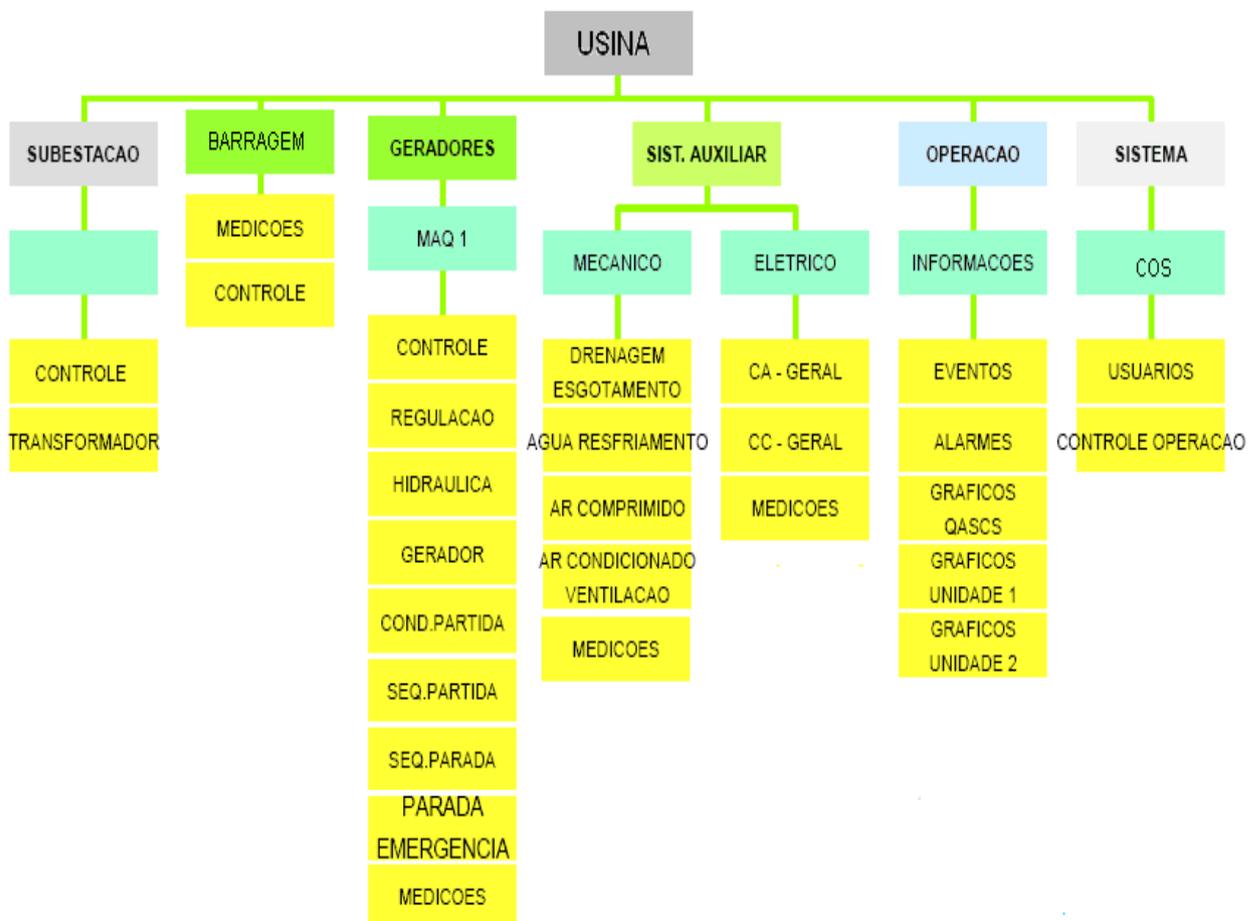


Figura 14: Gerenciamento de planta
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

A seguir são descritas, resumidamente, as funções do SDSC relativas a cada grupo funcional e suas respectivas telas, conforme BOZZETO e BIANCHI (2008), para a empresa BCM Automation.

A - Monitoração de grandezas elétricas (correntes, tensões, potências, entre outros)

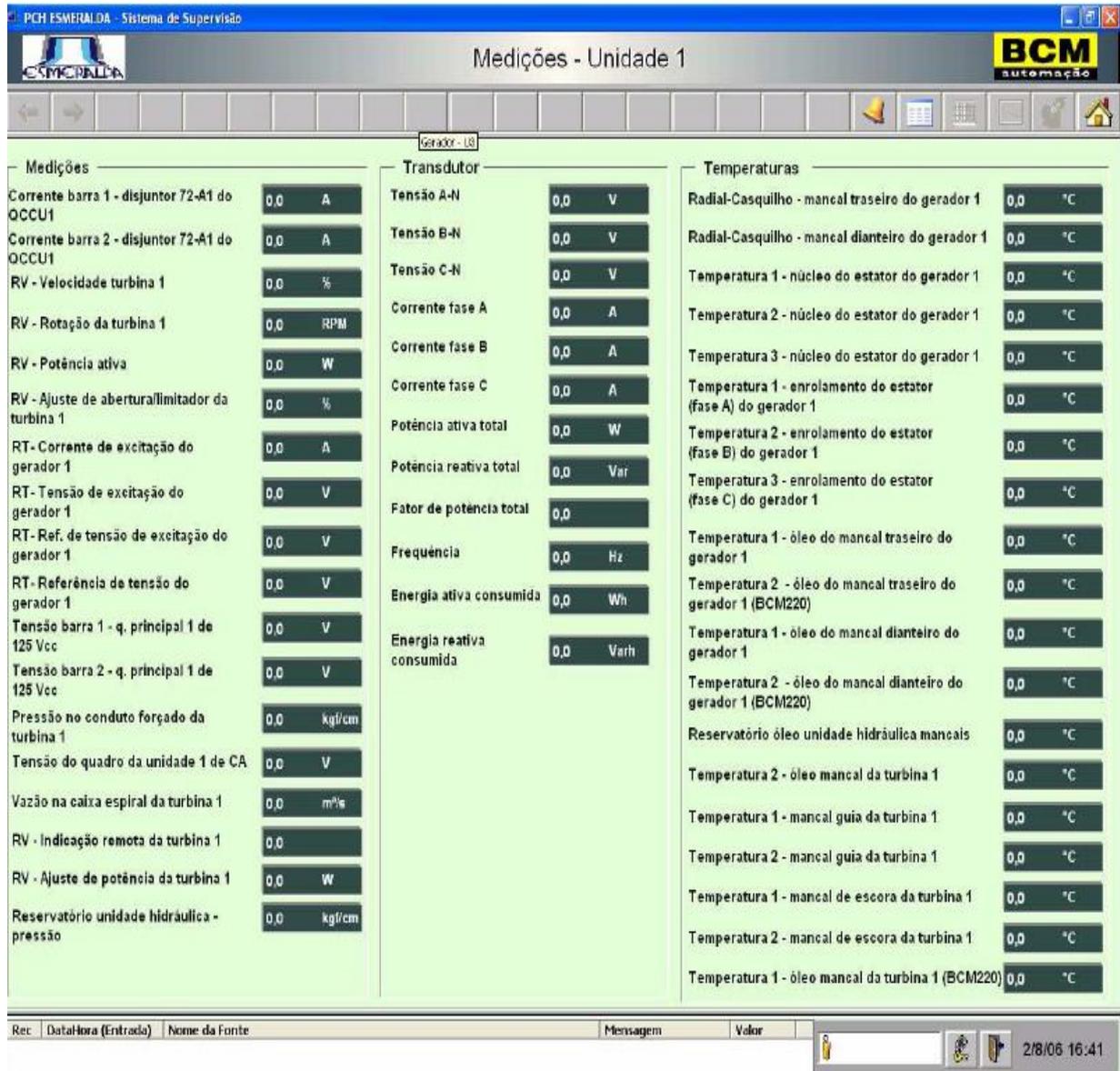
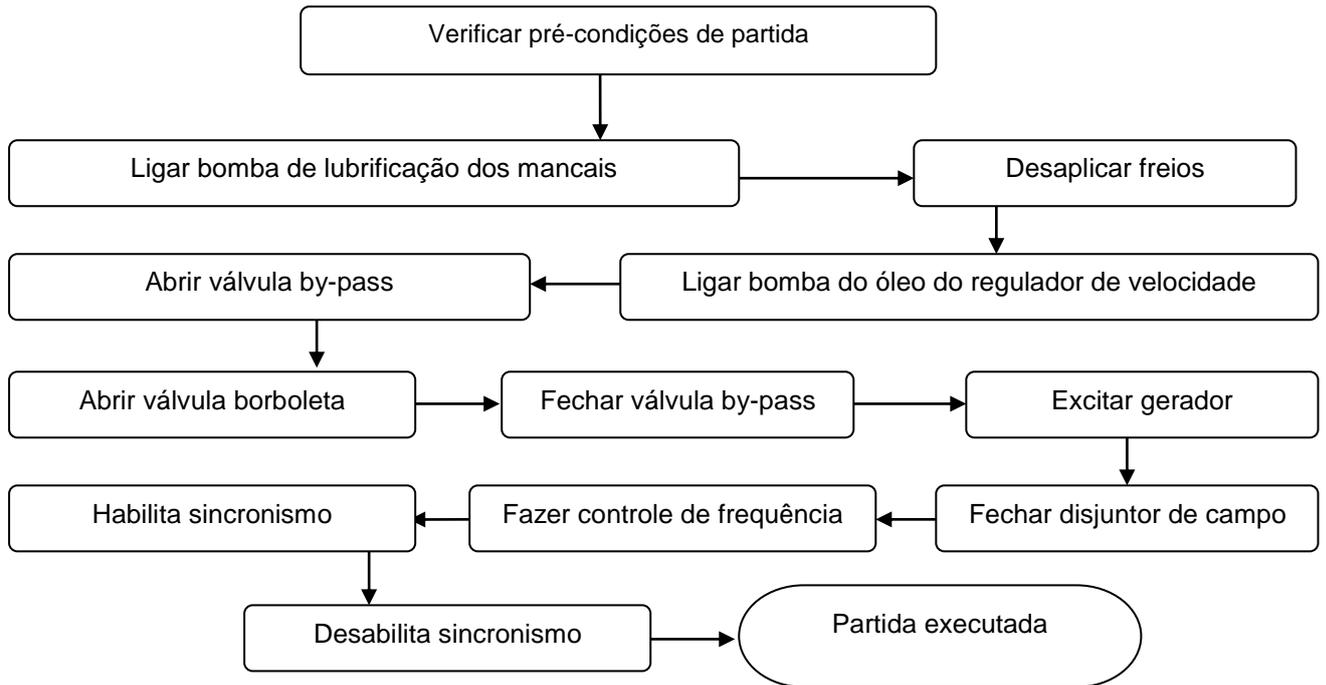


Figura 15: Monitoração de grandezas elétricas
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

B – Condições para partida

O organograma exemplificado a seguir, apresenta as pré-condições de partida da máquina, que posteriormente serão apresentadas na tela (Figura 16), lembrando que para dar partida na máquina é necessário que todas as pré-condições de partida estejam satisfeitas.



PCB ESMERALDA - Sistema de Supervisão

Condições Para Partida - Unidade 1

BCM automação

CONDIÇÕES GERAIS

- Disjuntor 52L1 fechado
- Disjuntor 52TE fechado
- Tensão na barra do gerador (13.8kV) presente
- Transformador Elevador proteção não atuada
- Sistema digital de controle QACSE - sem defeito

CONDIÇÕES DA UNIDADE

- Disjuntor 52G1 aberto
- Disjuntor 52G1 inserido
- Disjuntor 52G1 sem falha
- Relé de bloqueio 86E rearmado
- Relé de bloqueio 86M rearmado
- Bomba 1 de óleo do RV - em remoto e sem defeito
- Bomba 2 de óleo do RV - em remoto e sem defeito
- Alimentação CC RT sem falha
- Alimentação CC RV sem defeito
- Regulador de tensão sem defeito
- Regulador de tensão em remoto
- Regulador de velocidade sem falha
- Regulador de velocidade em remoto
- Regulador de velocidade - conversor CC sem falha
- Distribuidor - trava manual des aplicada
- Pino palheta - não rompido
- Válvula borboleta - trava manual des aplicada
- Válvula borboleta em remoto
- Válvula by pass em remoto
- Tanque de óleo regulador de velocidade - nível normal
- Tanque de óleo regulador de velocidade - temperatura normal
- Válvula solenoide emergência regulador de velocidade - disponível
- Válvula solenoide isolamento regulador de velocidade - disponível
- Tanque de óleo de resfriamento dos mancais - nível normal
- Tanque de óleo resfriamento dos mancais - temperatura normal
- Água de resfriamento do óleo dos mancais - fluxo normal
- Relé de bloqueio 86H rearmado
- Contatora de campo 41 aberta
- Bomba 1 de óleo dos mancais em remoto e sem falhas
- Bomba 2 de óleo dos mancais em remoto e sem falhas
- Mancal dianteiro do gerador - nível de óleo normal
- Mancal traseiro do gerador - nível de óleo normal
- Mancal combinado da turbina - nível de óleo normal
- Mancal combinado - temperatura normal
- Vedação manual de manutenção do eixo des aplicada
- Nível de água de resfriamento dos mancais normal
- Conduto forçado - pressão normal
- Tensão do sistema auxiliar CA e CC normal
- Unidade parada
- Válvula borboleta aberta
- Válvula by pass aberta
- Freios do gerador - aplicados

Rec	Data/Hora (Entrada)	Nome da Fonte	Mensagem	Valor

2/8/06 16:38

Figura 16: Condições para a partida
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

C – Sequência de parada

Monitoração de cada etapa permitindo ou não o próximo passo, informando se as operações são válidas ou não.

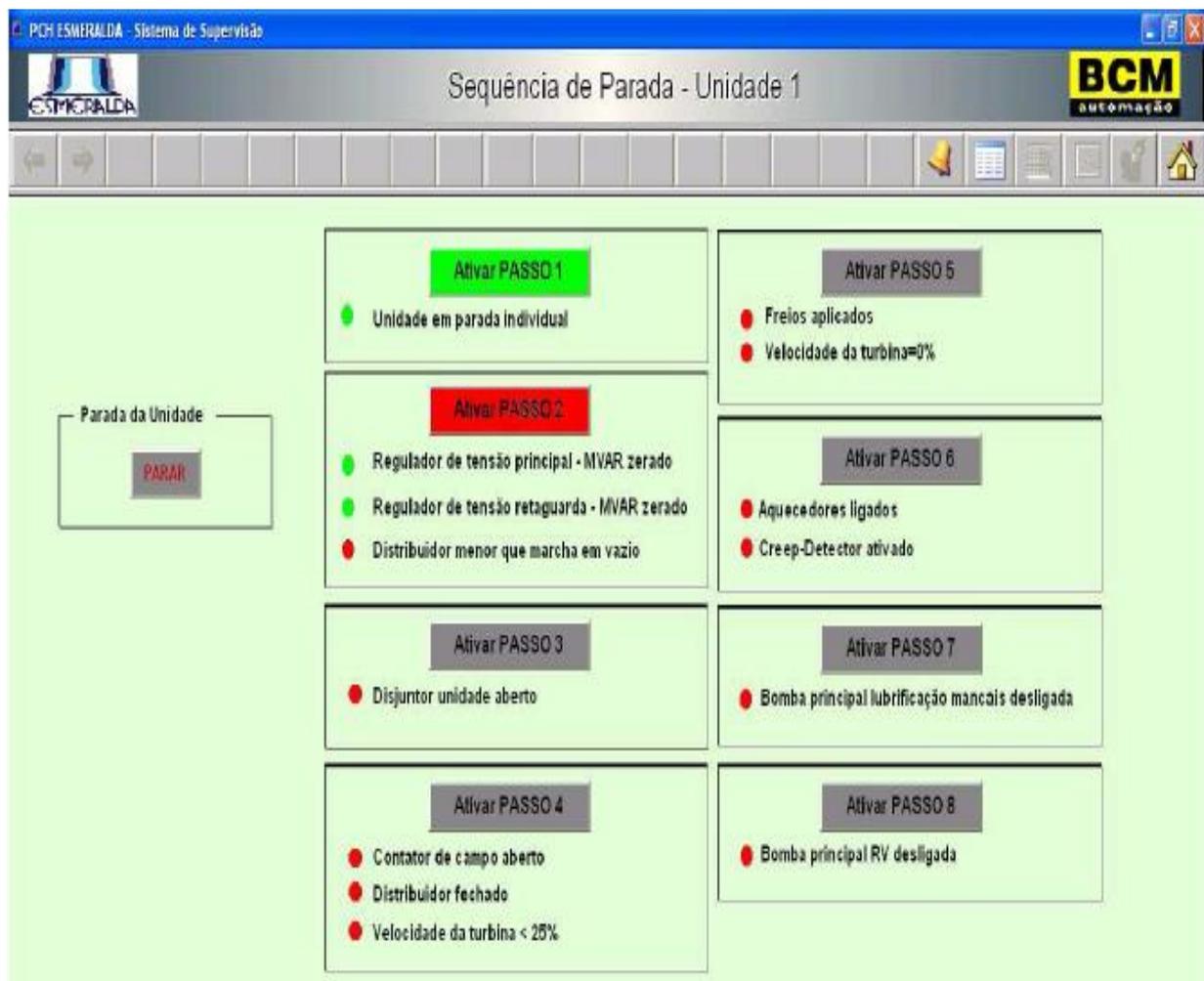
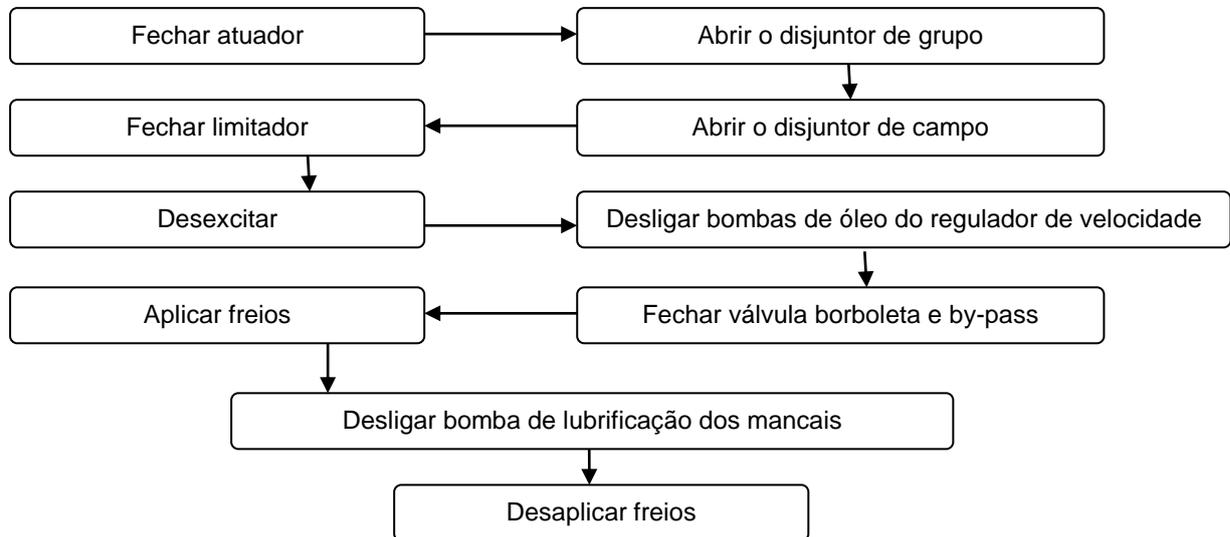


Figura 17: Sequência de parada
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

D – Monitoração do Gerador

Apresenta informações sobre o gerador e a turbina, como a temperatura de mancais, enrolamento e núcleo. Informa também a aplicação do freio e o status das bombas dos mancais.

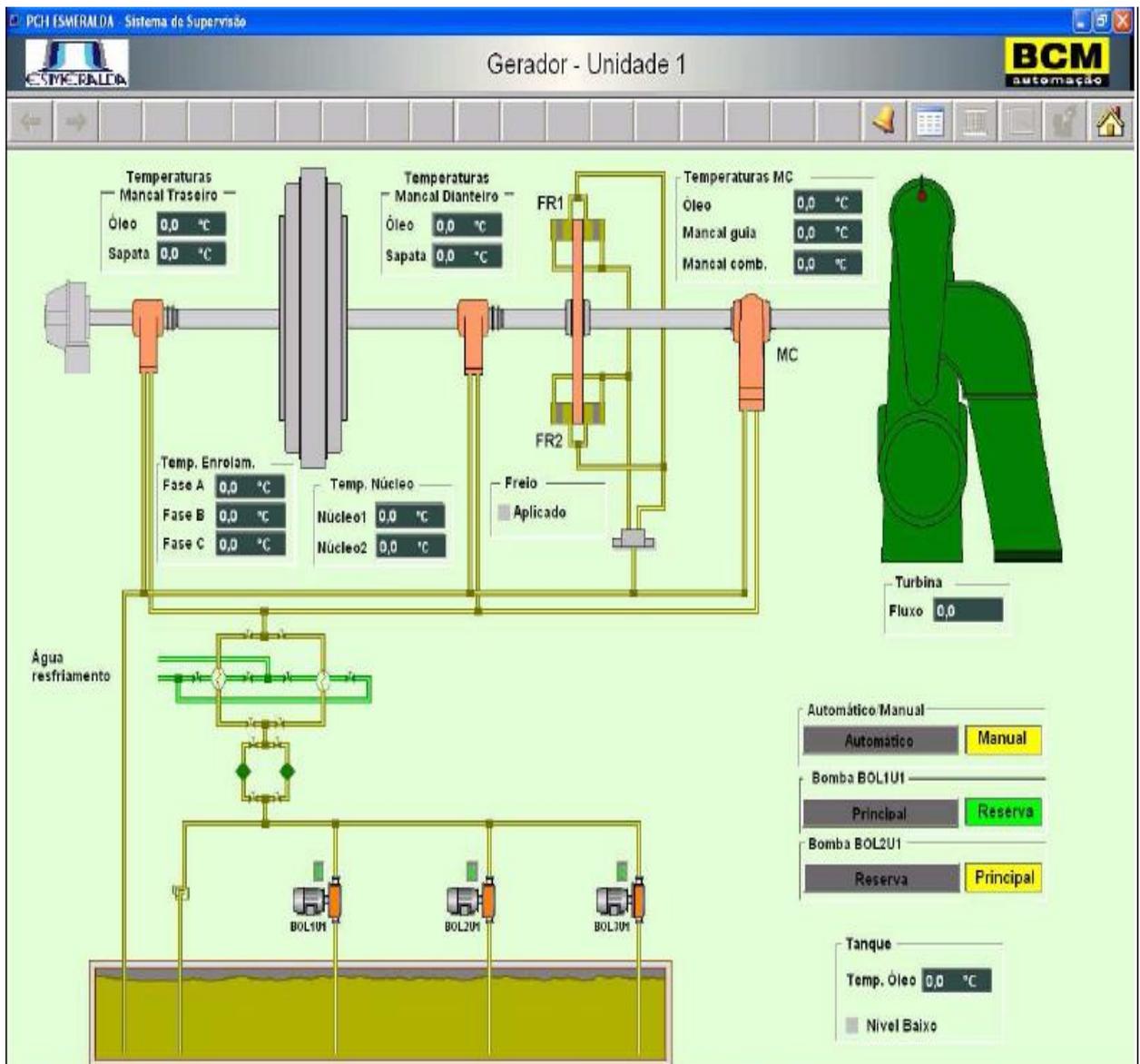


Figura 18: Monitoração do gerador
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

E – Sistema de Água para Resfriamento

Monitora o sistema de água de resfriamento e suas respectivas variáveis relacionadas.

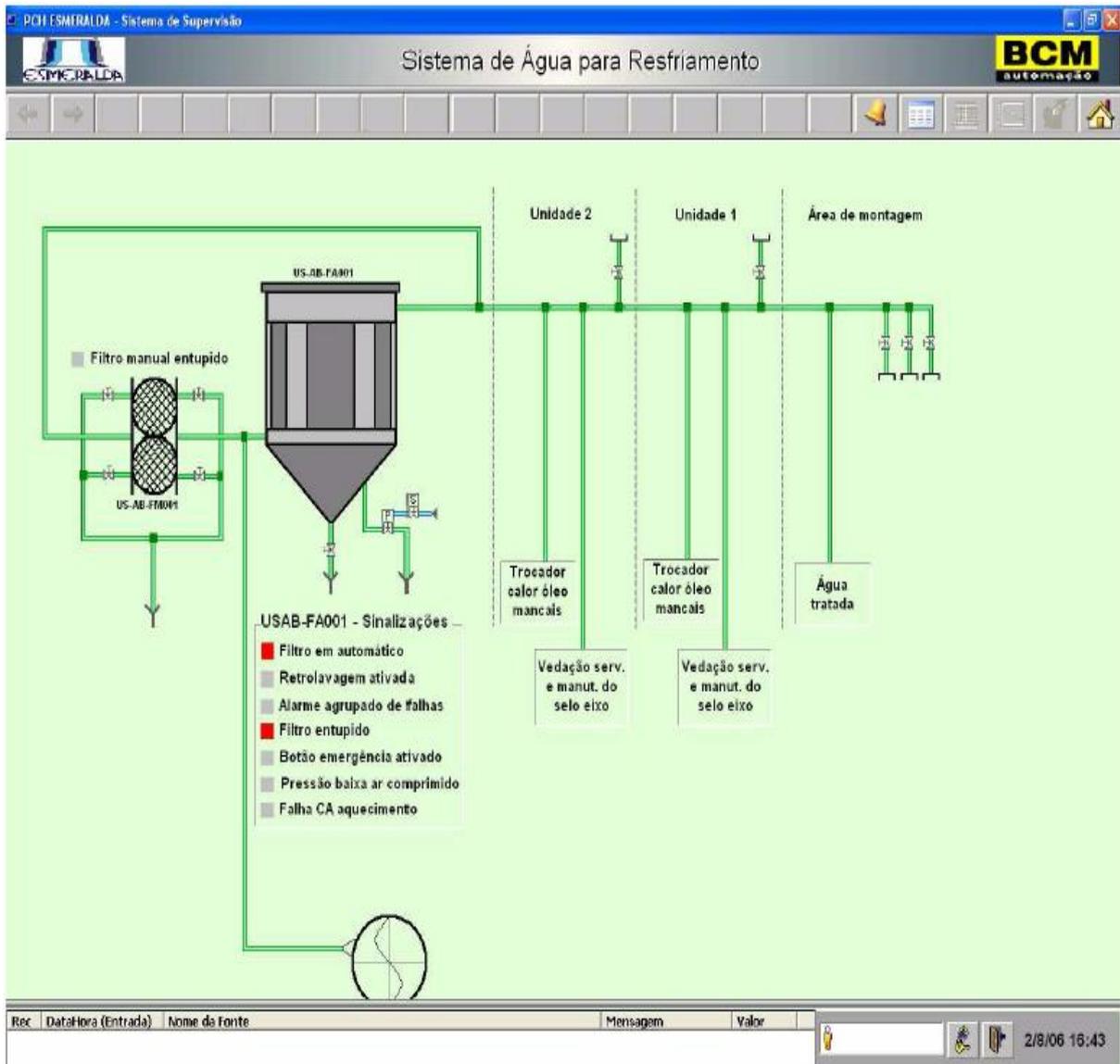


Figura 19: Sistema de Água para resfriamento
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

Além das telas demonstradas acima, pode-se destacar outras como:

- Tela do Diagrama Unifilar Geral: Esta tela apresenta a visualização do diagrama unifilar geral da usina. É possível executar comandos e verificar o estado de alguns equipamentos ao longo do unifilar, bastando para isso clicar sobre o respectivo equipamento. Modelo explicitado na figura 20.

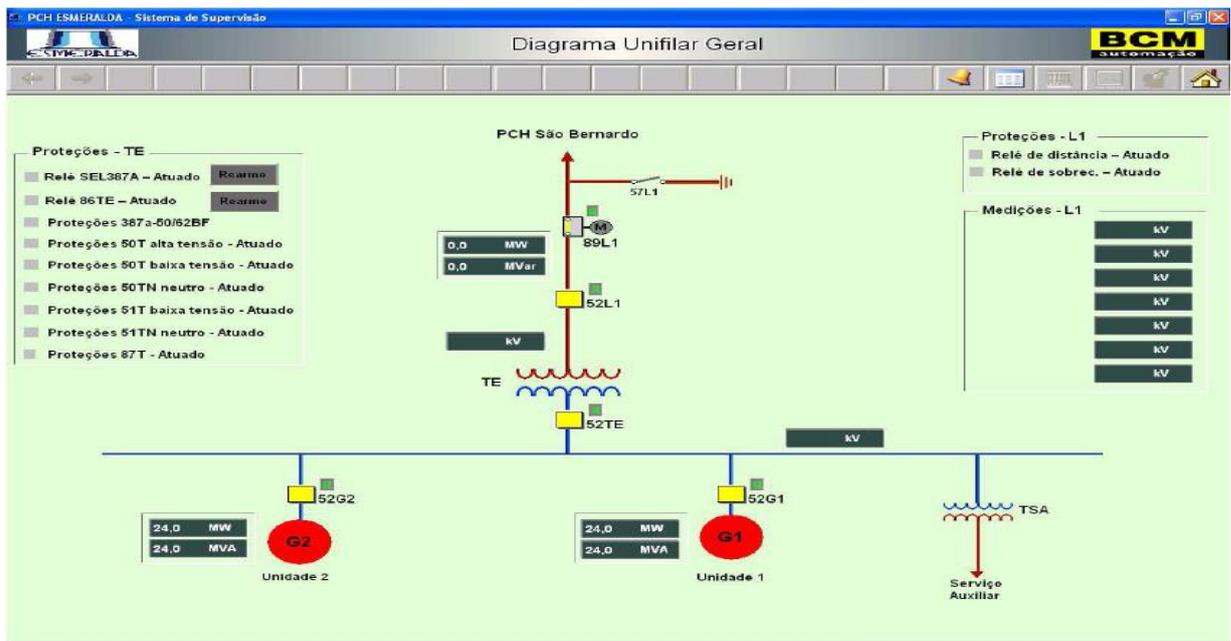


Figura 20: Tela do Diagrama Unifilar Geral
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

- Tela da Subestação: Nesta tela são apresentadas as sinalizações de atuação de alarme e proteção do transformador elevador, bem como medições elétricas.
- Tela de Alarmes: Esta tela apresenta os alarmes gerados na aplicação. Exemplo na figura 21.

Reconhecido	DataHora (Entrada)	Nome	Mensagem	Prioridade	Área
Não	17/08/2006 14:25:29	FALHA_COM_U1	Falha de Comunicação com QAC-U1 - FALHA	Alta	Unidade1

Figura 21: Tela de Alarmes
Fonte: BOZZETO e BIANCHI (2008)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento socioeconômico de um país perpassa pela utilização de energia elétrica, bem como pela sua produção. Entende-se que ao automatizar uma PCH, como todo projeto, necessita-se de cuidados e atenções, tais como o tempo de trabalho de um sensor para a realização de uma manutenção preventiva, custo de manutenção, meio físico de instalação, entre outros.

As empresas encontram dificuldades em sistematizar seus procedimentos e na execução dos sistemas de supervisão, principalmente, pela deficiência de ferramentas adequadas de testes, pouca qualificação das equipes, constantes mudanças tecnológicas e documentação deficiente.

A complexidade dos sistemas exige novas estratégias e novos procedimentos. As novas tecnologias devem ser aliadas na busca de eficiência econômica, assim como garantir maior segurança e qualidade dos sistemas de proteção e automação.

Dessa forma, pretende-se com este estudo, apresentar os ganhos que a automação traz, com vistas a um melhor desempenho e uma modernização dos processos de operação e manutenção de uma PCH, contribuindo inclusive para o desenvolvimento do país. Prevê-se, com a implantação do sistema de automação aqui apresentado, uma grande economia de mão-de-obra na operação e uma redução significativa de horas extras destinadas a manutenções corretivas; aumento tanto da segurança dos operadores e também do processo e, no geral, redução dos custos para manutenção de suas instalações.

Conclui-se, que além de elucidar toda a importância da automação para o controle de uma PCH, este trabalho ainda oferece outras oportunidades para futuras pesquisas na área em questão podendo servir como estudo base para o desenvolvimento de uma automação aprofundada de um específico subprocesso de uma usina hidrelétrica, por exemplo, desenvolver um possível regulador de velocidade, destacando todo o estudo das turbinas hidrelétricas e sua relação com os reguladores, desde todo o seu sistema de bombeamento de óleo até a regulação das pás distribuidoras, sendo essa, um dos principais equipamentos na usina. Além disso, a realização de um sistema de supervisão ligado a um Controlador Lógico Programável, considerando uma usina virtual, torna-se outro atrativo nesta área.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Turbinas Hidráulicas, Turbinas-bombas e bombas acumulação** – NBR 6445. Rio de Janeiro, 1987.

ALMEIDA, Paulo César de. **Esquemas de Proteção de Sistemas de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC - Rio. 2002.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Guia do empreendedor de pequenas centrais hidrelétricas**. Brasília: ANEEL, 2003.

ANTONELLI, Pedro Luis. **Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis**. Apostila. 1998. Disponível em: <http://www.ejm.com.br/download/Introducao%20CLP.pdf>
Acesso 20 Fev. 2015.

BOZZETTO, Jose Luiz; BIANCHI, Flavio C. **Sistema integrado para o controle de PCHs –coach**. Comitê Brasileiro de Barragens. VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. 2008.

Disponível em:

<http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/artigos/bb77950065a4ada6b670793383818f83.pdf>

Acesso em 14 Abr. 2014.

CASSIOLATO, César. **Redes Industriais**. Artigos técnicos SMAR. 2011.

Disponível em: <http://www.smar.com/brasil/artigostecnicos/artigo.asp?id=48>.

Acessado em 05 Nov. 2014.

CLEMENTE, Leonardo **Seleção da potência instalada ótima de pchs no contexto de mercados competitivos**. Dissertação apresentada como requisito parcial para Mestrado em Engenharia Hidráulica, Universidade Federal do Paraná. Disponível em:

http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Leonardo_Clemente.pdf

Acesso em 20 Jul. 2014

COSTA, Antônio Simões. **Turbinas Hidráulicas e Conduitos Forçados**. Artigo. 2003

Disponível em: <http://www.labspot.ufsc.br/~simoed/dincont/turb-hidr-2003.pdf>

Acesso em: 20 Nov. 2014.

DE MELLO, Nilo Felipe Baptista. **Automação Digital de Subestações de Energia Elétrica**. Projeto submetido ao corpo docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola

Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, 2006.

DIAS, Israel Oliveira. **Procedimentos para implantação de uma pequena central hidrelétrica, do estudo ao inventário de outorga.** Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil Ênfase em Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

ELETROBRÁS. DEA. DEAA. **Subsídios para adequação do licenciamento ambiental de instalações de transmissão: relatório final / Centrais Elétricas Brasileiras S.A, DEA, DEAA;** coordenado por Mírian Regini Nutti. – Rio de Janeiro : Eletrobrás, 2000. 40 p

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais.** Livros Técnicos e Científicos. Editora SA – LTC, Rio de Janeiro, RJ. 1997

GEORGINI, M.. **Automação Aplicada – Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs.** 3. ed. São Paulo: Érica, 2000.

GOVERNO FEDERAL. **Maior parte da produção de energia no Brasil é sustentável.** 2015. Disponível em:
<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/maior-parte-da-producao-de-energia-no-brasil-e-sustentavel> Acesso em: 13 Fev. 2015

GUIMARÃES, Márcio Gustavo Dias. **Critérios para automação de hidrelétricas com operação centralizada.** Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, UFMG. Belo Horizonte, 2009.

INFOESCOLA. **Usina Hidrelétrica.**

Disponível em: <http://www.infoescola.com/energia/usina-hidreletrica/>
Acesso em: 20 Jul. 2014.

INTECH, **Revista Basil Automation.** ISA 2011. 15º Congresso Internacional e Exposição de Automação, Sistemas e Instrumentação. 2011.

Disponível em: http://www.isa-es.org.br/portal/arquivos/publicacoes_intech/InTech137.pdf
Acesso em 02 Mai. 2015.

JARDINI, J.A. **Sistemas Digitais Para Automação da Geração, Transmissão E Distribuição De Energia Elétrica.** São Paulo: FCA, 1996.

KONDO, Carlos. **Governador de velocidade digital – descrição de funcionamento.** Relatório técnico. São Paulo: VOITH, 2001.

LIMA, Roberth dos Santos. **Padronização de Projetos Elétricos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002.

MANCINI FILHO, Edson. **Regulador de velocidade para turbinas hidráulicas tipo Francis**. Artigo técnico. Curitiba: Unicenp, 2004.

MARTINS, Geomar M. **Princípios de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

MELLO, Antônio. **A turbina de Fluxo Cruzado (Michell Banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós - graduação em Energia da Universidade de São Paulo, USP. São Paulo. 2000.

MONTEBELLER, Sidney José. **Apostila de Eletrônica II – Faculdade de Engenharia de Sorocaba**. 2015.

Disponível em: http://alfa.facens.br/~sidney/Apostila_EletronicaII_Rev6.pdf

Acesso em 01 Mai. 2015

MORAES, Cícero C.; CASTRUCCI, Plínio L. **Engenharia de Automação Industrial, livro**. Editora LTC, Segunda Edição, Rio de Janeiro, 2007.

NASCIMENTO, Leonardo Tavares. **Avaliação da utilização de tecnologia de comunicação sem fio em redes PROFIBUS e FOUNDATION Fieldbus™**, 2008.

Disponível em:

http://www2.ee.ufpe.br/instrumentacao/monografias/Leonardo_Monografia_PROMINP_I.pdf

Acesso em 09 Ago. 2014

PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos**. Caderno Economia em Destaque. 2006. p. 4-11.

ROSÁRIO, 2005 - ROSÁRIO, J.M. **Princípios de Mecatrônica**, Editora Prentice Hall, São Paulo, 2005.

SANTIAGO, Cesar; BECKER, Gilson; KERN, Mário. Relatório técnico. **Regulador Hidráulico de velocidade REV1H**. Curitiba: COPEL, 2004.

SCHMIDT, Alvaro Maciel. **Controle de nível de líquido utilizando controlador lógico programável**. Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

SILVA, Bianca Romaniv da, SOARES, Jefferson Wilhelm Meyer, DE LA ROSA, Victor Emanuel Correia. **Aplicação de um método de programação de CLP com base no diagrama SFC para automação de unidades geradoras hidrelétricas**. 2012. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012

SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson E. dos. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo, Editora Érica, 2002.

SITE 1 – REFERÊNCIA

Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/pch-apresentacao-componentes.html>

Acesso em: 14 Abr. 2015

SITE 2 – REFERÊNCIA

Disponível em:

http://www.digel.com.br/novosite/index.php?option=com_content&view=article&id=116:clp

Acesso em 15 Abr. 2015

SITE 3 – REFERÊNCIA

Disponível em:

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAACt8AG/subestacao>

Acesso em 23 Mar. 2015

SOUSA, Marco Antonio Baptista de. **Sistemas de Controle e Automação Industrial**. 2002

SOUZA, Z.; FUCHS, R.D.; SANTOS, A.H.M. **Centrais Hidro e Termoelétricas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

PINTO, J. R. C. **Técnicas de Automação**. Lisboa: ETEP, 2004.

POSCH, Ricardo Barbosa Siqueira **Construção de diagramas de custos para PCH incorporando turbinas de mercado**, Guaratinguetá: [s.n.], 2006

UDDIN, Safi; MOHAMED, Khalid Nor; SALAM, Sayeed. **Integration technique for an expert system on to a real-time system**. In Proceedings of the TENCON'2000, 2000.

VERGILIO, KAREN EVELLINE PERUSSO. **Gerações Distribuídas e Pequenas Centrais Hidrelétricas: Alternativas Para a Geração De Energia Elétrica No Brasil**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.